

625.7  
HUG  
p ei.

**PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR DAN ASPAL EMULSI  
TERHADAP KEMBANG-SUSUT DAN DAYA DUKUNG TANAH  
EKSPANSIF SEBAGAI SUBGRADE JALAN**

**TESIS**

**Diajukan Guna Melengkapi Syarat Memperoleh Gelar Magister Teknik**



Oleh :

UNTORO NUGROHO  
L4A000037

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
PASCA SARJANA  
UNIVERSITAS DIPONEGORO  
SEMARANG**

**2003**

## LEMBAR PENGESAHAN

# PENGARUH PENAMBAHAN KAPUR DAN ASPAL EMULSI TERHADAP KEMBANG-SUSUT DAN DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF SEBAGAI SUB GRADE JALAN

DISUSUN OLEH :

**UNTORO NUGROHO**

**NIM : L4A000037**

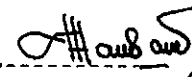
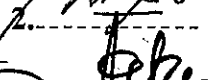
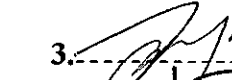
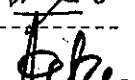
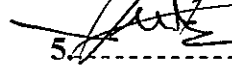
Dipertahankan di depan Tim Penguji pada tanggal :

**17 September 2003**

Tesis ini telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar  
Magister Teknik Sipil

Tim Penguji :

1. Ketua : Dr. Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc.
2. Sekretaris : Ir. Djoko Purwanto, M.S.
3. Anggota 1 : Ir. Muhrozi, M.S.
4. Anggota 2 : Drs. Bagus Priyatno, S.T., M.T.
5. Anggota 3 : Ir. Bambang Hariyadi, M.Sc.

1.   
2.   
3.   
4.   
5. 

Semarang, 03 Oktober 2003

Universitas Diponegoro

Program Pasca Sarjana

Magister Teknik Sipil

Ketua,

<b>UPT-PUSTAK-UMDIP</b>	
No. Daft:	2252/T/MTS/1
Tgl.	12 Feb 04



**Dr. Ir. Suripin, M.Eng.**

**NIP. 131 668 511**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan yang telah memberikan segala kemampuan dan ketrampilan sehingga selesainya tesis ini. Hanya karena berkat dan karunia-Nya semata yang membuat semua bagian dari tesis ini terjalin dengan baik mulai dari proposal, penelitian dan penyusunan laporan. Bagi Dialah kemuliaan dari selama-lamanya sampai selama-lamanya.

Tesis ini disusun sebagai persyaratan untuk tercapainya gelar Magister Teknik. Laporan tesis yang berupa karya tulis ini berisi laporan penelitian, pembahasan serta kesimpulan dari rangkaian penelitian yang dilakukan. Penelitian yang dilakukan bertujuan untuk usaha stabilisasi tanah ekspansif dengan memakai kapur dan aspal emulsi. Diharapkan penelitian ini akan memberi sumbangsih bagi upaya stabilisasi tanah ekspansif yang sangat merugikan konstruksi jalan raya.

Terima kasih saya ucapkan kepada :

1. Ibu Dr. Ir. Sri Prabandiani, M.Sc. selaku pembimbing pertama atas semua masukan, arahan dan koreksinya sehingga sempurnanya tesis ini,
2. Bp. Ir. Djoko Purwanto, M.S. selaku pembimbing kedua atas semua masukan, arahan dan koreksinya sehingga sempurnanya tesis ini,
3. Semua pimpinan dan staf Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro atas semua bantuan dan kesempatan sehingga tersusunnya tesis ini,
4. Keluarga dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu demi satu.

Kiranya hanya kasih Tuhan semata yang akan melimpahi kita semua.

Harapan saya tesis ini akan menjadi nyata dalam langkah berikutnya berupa pengabdian langsung di lapangan baik berupa darma pegajaran, darma penelitian darma pengabdian kepada masyarakat maupun kegiatan di bidang praktisi lapangan.

Semarang, 5 September 2003

Penyusun

## DAFTAR ISI

Lembar Pengesahan	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi	v
Daftar Tabel	vi
Daftar Gambar	viii
Daftar Lampiran	xi
Intisari	xii
Abstract	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Pokok Permasalahan	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Pembatasan Permasalahan	4
1.5. Hipotesis	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Umum	7
2.2. Klasifikasi Tanah	8
2.3. Identifikasi Tanah Ekspansif	10
2.4. Mineralogi Tanah Ekspansif	13
2.5. Sifat-sifat Fisik Tanah Ekspansif	16
2.6. Karakteristik Mekanis Tanah Ekspansif	18
2.7. Sifat-sifat Kapur	20
2.8. Stabilisasi Tanah dengan Kapur	21
2.9. Aspal Emulsi	22
2.10. Stabilisasi Tanah-Kapur dengan Aspal	28
2.11. Penelitian Yang Sudah Dilakukan	30
BAB III. METODOLOGI PENELITIAN	32
3.1. Rancangan Penelitian	32
3.2. Bahan dan Alat	35
3.3. Prosedur Pelaksanaan	37
BAB IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	39
4.1. Hasil Penelitian	39
4.2. Pembahasan	47
BAB V. KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	76
Daftar Pustaka	xiv
Lampiran	

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Kelompok Tanah dengan simbol <i>prefiks</i> dan <i>subfiks</i>	8
Tabel 2.2.	Klasifikasi Tanah sistem ASTM	9
Tabel 2.3.	Rentang Ukuran Beberapa mineral Lempung	11
Tabel 2.4.	Hubungan <i>Swelling Potensial</i> dengan <i>Plastic Index</i>	12
Tabel 2.5.	Data Estimasi Kemungkinan perubahan Volume Tanah <i>Ekspansif</i>	12
Tabel 2.6.	Tingkat Ekspansif Tanah berdasarkan Batas Susut	13
Tabel 2.7.	Rentang Pertukaran <i>Kation</i> dalam Mineral Tanah <i>Ekspansif</i>	15
Tabel 2.8.	Karakteristik Mineral Utama Tanah	16
Tabel 3.1.	Variasi Penelitian	34
Tabel 4.1.	Karakteristik tanah asli	39
Tabel 4.2.	Kandungan mineralogi tanah	40
Tabel 4.3.	Komposisi kimia tanah	40
Tabel 4.4.	Komposisi kimia kapur	41
Tabel 4.5.	Hasil pengujian aspal emulsi	41
Tabel 4.6.	Specific Gravity dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	42
Tabel 4.7.	Batas cair (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	43
Tabel 4.8.	Batas plastis (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	43
Tabel 4.9.	Batas susut (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	43
Tabel 4.10.	Indeks plastis (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	44

Tabel 4.11.	Hasil pengujian klasifikasi dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	45
Tabel 4.12.	Hasil pengujian klasifikasi dan aktivitas dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	45
Tabel 4.13.	Hasil pengujian CBR dan Swelling dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman	46
Tabel 4.14.	Hasil pengujian CBR dan Swelling terhadap sampel dengan perlakuan siklus basah-kering	46

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Grafik Plastisitas sistem ASTM	10
Gambar 2.2.	Hubungan antara perubahan volume PI oleh Holtz, Seed dan Chen	13
Gambar 2.3.	Hubungan densitas dengan kadar air	18
Gambar 2.4.	Pengaruh penambahan air	19
Gambar 2.5.	Proses Pembuatan Aspal Emulsi	23
Gambar 2.6.	Emulsifier anionik, Kationik dan Non Ionik	24
Gambar 2.7.	Proses Setlemen	25
Gambar 2.8.	Proses Flokulasi	26
Gambar 2.9.	Proses Coalescence	26
Gambar 2.10.	Diagram skematik Breaking Proses	27
Gambar 3.1.	Bagan Alir Rancangan Penelitian	36
Gambar 4.1.	Hubungan Gs dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi Masa pemeraman	51
Gambar 4.2.	Hubungan Gs dengan masa pemeraman dalam variasi bahan Bahan stabilisasi	51
Gambar 4.3.	Hubungan Gs dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi konsentrasi kapur dalam masa peram 7 hari	52
Gambar 4.4.	Hubungan batas cair dan batas plastis dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa peram	53
Gambar 4.5.	Hubungan batas susut dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa peram	54
Gambar 4.6.	Hubungan indeks plastisitas dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa peram	54
Gambar 4.7.	Hubungan batas cair dan batas plastis dengan konsentrasi kapur dalam variasi masa peram	55



Gambar 4.8.	Hubungan indeks plastisitas dengan konsentrasi kapur dalam variasi masa peram	55
Gambar 4.9.	Hubungan batas cair dan batas plastis dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi	56
Gambar 4.10.	Hubungan batas susut dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi	56
Gambar 4.11.	Hubungan indeks plastisitas dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi	57
Gambar 4.12.	Hubungan fraksi $< 0,002$ dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi masa peram	58
Gambar 4.13.	Hubungan aktivitas dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi masa peram	58
Gambar 4.14.	Hubungan fraksi $< 0,002$ dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi	59
Gambar 4.15.	Hubungan aktivitas dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi	59
Gambar 4.16.	Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi waktu pemeraman	60
Gambar 4.17.	Hubungan nilai CBR dengan masa pemeraman pada dua varian campuran kapur	61
Gambar 4.18.	Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa peram pada sampel dengan penambahan 4% kapur	63
Gambar 4.19.	Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa peram pada sampel dengan penambahan 8% kapur	63
Gambar 4.20.	Hubungan nilai CBR dengan hari peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi	64
Gambar 4.21.	Hubungan nilai swelling dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi waktu pemeraman	65
Gambar 4.22.	Hubungan nilai swelling dengan masa pemeraman pada dua variasi campuran kapur	66

Gambar 4.23. Hubungan nilai swelling dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa peram pada sampel dengan penambahan 4% kapur	66
Gambar 4.24. Hubungan nilai swelling dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa peram pada sampel dengan penambahan 8% kapur	67
Gambar 4.25. Hubungan nilai swelling dengan hari peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi	68
Gambar 4.26. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi dalam masa pemeraman 7 hari	69
Gambar 4.27. Hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi aspal emulsi pada masa pemeraman 7 hari	70
Gambar 4.28. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi kapur dalam masa pemeraman 7 hari	71
Gambar 4.29. Hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi kapur pada masa pemeraman 7 hari	72

## DAFTAR LAMPIRAN

- Lampiran A. Rangkuman Data Hasil Pengujian
- Lampiran B. Data Hasil Pengujian Properties Tanah Asli, aspal Emulsi dan Kandungan Kimia Kapur
- Lampiran C. Data Hasil Pengujian Gs dan Batas-Batas Atterberg
- Lampiran D. Data Hasil Pengujian Analisis Distribusi Ukuran Butiran
- Lampiran E. Data Hasil Pengujian Swelling
- Lampiran F. Data Hasil Pengujian CBR

## INTISARI

Penelitian ini dilakukan untuk melakukan analisis dan pemeriksaan masalah tanah ekspansif yang digunakan sebagai tanah dasar ( *sub grade* ). Konstruksi jalan yang memakai tanah ekspansif sebagai tanah dasar ( *sub grade* ) ternyata mengalami banyak kerusakan. Dari hasil penelitian dapat diperkirakan bahwa kerusakan tersebut terjadi disebabkan oleh daya dukung yang rendah, juga oleh tingginya angka pengembangan dan penyusutan lapisan tanah dasar. Dalam penelitian ini dilakukan usaha stabilisasi tanah ekspansif sebagai tanah dasar ( *sub grade* ) dengan memakai kapur dan aspal emulsi.

Contoh tanah terganggu diambil pada km 56 dari Semarang menuju Purwodadi. Sifat-sifat fisik tanah diuji bersama dengan beberapa pengujian laboratorium seperti : pengujian CBR dan volume pengembangan. Sifat-sifat kimiawi dan mineral tanah juga diuji. Dalam pengujian tersebut ditemukan jenis tanah ekspansif yang mengandung *montmorillonite*, yang peka terhadap pengembangan dan penyusutan akibat berubahnya kadar air dalam tanah. Dari hasil penelitian diketahui nilai CBR tanah asli sebesar 2,745% dan nilai volume pengembangan sebesar 4,86%.

Hasil pengujian setelah ditambah bahan stabilisasi, nilai CBR mengalami kenaikan menjadi 8,07% setelah penambahan 8% aspal emulsi dan mengalami masa pemeraman selama 7 hari. Nilai CBR juga mengalami kenaikan menjadi 31,74% setelah ditambah 8% kapur dan mengalami masa pemeraman 7 hari. Pada campuran kombinasi kedua bahan stabilisasi nilai CBR mengalami kenaikan menjadi 20,015% setelah ditambah 8% kapur dan 4% aspal emulsi serta mengalami masa pemeraman 7 hari.

Hasil pengujian setelah ditambah bahan stabilisasi, nilai volume pengembangan mengalami penurunan menjadi 1,335% setelah penambahan 8% aspal emulsi dan mengalami masa pemeraman selama 7 hari. Nilai volume pengembangan juga mengalami penurunan menjadi 0% setelah ditambah 8% kapur dan mengalami masa pemeraman 7 hari. Pada campuran kombinasi kedua bahan stabilisasi nilai volume pengembangan mengalami penurunan menjadi 0,003% setelah ditambah 8% kapur dan 4% aspal emulsi serta mengalami masa pemeraman 7 hari.

Kata kunci : tanah ekspansif, *montmorillonite*, kadar air, kapur, aspal emulsi, kekuatan tanah, volume pengembangan

## **ABSTRACT**

*This study was carried out in order to analyse and to investigate the expansive soil problem on the subgrade road. Road construction where used expansif soil for sub grade usually have a problem. It was suspected that low bearing capacity as well as swelling and shrinkage of soil forming the highway subgrade mainly caused such problem. In this study lime and asphalt emulsion were used as the stabilization agents.*

*The sample of the disturbed soil was taken from Semarang to Purwodadi at km 56. The soil physical properties were investigated together with some laboratory tests such as : California Bearing Ratio test and swelling potential test. The chemical and mineral properties of the sample were investigated as well. From the result indicated that the soil was montmorillonite, which is sensitive to swell and shrinkage, that caused by the changed of water content. In addition, the CBR was 2,745% and swelling potential was 4,86%.*

*By the addition of 8% asphalt emulsion the CBR increased to 8,07% after 7 days curing time. The CBR increased to 31,74% by the addition of 8% lime after curing for 7 days. For combination between lime and asphalt emulsion, the CBR increased to 20,015% by the addition of 8% lime and 4% asphalt emulsion after 7 days curing time.*

*The swelling potential value decreased 1,335% by the addition of 8% asphalt emulsion after 7 days curing time. The swelling potential decreased to 0% by the addition of 8% lime after 7 days curing time. For combination between lime and asphalt emulsion, the swelling potential decreased to 0,003% by the addition of 8% lime and 4% asphalt emulsion after curing for 7 days.*

**Key word :** *expansive soil, montmorillonite, water content, asphalt emultoin, soil strength, swelling potential*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang Permasalahan**

Stabilitas tanah dasar merupakan salah satu prasyarat penting bagi keawetan struktur perkerasan jalan. Kebutuhan akan keawetan struktur perkerasan jalan ini menjadi prioritas penting di Indonesia. Sebagai negara yang sedang berkembang Indonesia melakukan pembangunan di segala bidang. Pembangunan dilaksanakan diberbagai simpul perekonomian nasional maupun daerah. Pembangunan diberbagai simpul perekonomian ini dihubungkan dengan jaringan jalan yang ada. Karena itu keutuhan jaringan jalan tersebut sangat penting demi menunjang transportasi dan hubungan antar simpul perekonomian. Pada keadaan krisis ekonomi seperti sekarang ini efisiensi dan penghematan anggaran sangat diprioritaskan. Oleh sebab itu struktur perkerasan jalan yang tahan lama sangat bermanfaat bagi keadaan keuangan nasional.

Negara Indonesia mempunyai wilayah di daerah katulistiwa dengan iklim tropis. Wilayah tropis ini memberikan dua iklim yaitu kemarau dan hujan. Dua iklim ini mencurahkan hujan dengan intensitas yang sangat berbeda. Perbedaan intensitas hujan ini menimbulkan kadar kelembaban tanah yang sangat berbeda. Di sisi yang lain Indonesia mempunyai kekayaan akan keragaman geologi. Kekayaan akan keragaman geologi ini nampak pada beragamnya jenis dan klasifikasi tanah di negara ini. Salah satu ragam tanah yang ditemukan adalah tanah dengan kemampuan muai dan susut yang besar. Jenis ini sering disebut tanah ekspansif. Tanah ekspansif ini sangat rentan terhadap pengaruh kadar air. Kadar air tinggi menyebabkan tanah ini memuai dan kadar air rendah menyebabkan tanah ini menyusut. Keadaan iklim di Indonesia yang memberikan dua nilai ekstrim kadar air sangat mempengaruhi stabilitas tanah ekspansif ini.

Pengembangan jaringan jalan untuk memenuhi kebutuhan transportasi antar simpul perekonomian seringkali harus melalui daerah dengan kondisi tanah yang tidak menguntungkan. Jaringan jalan seringkali harus memakai tanah dasar dengan daya dukung rendah dan bersifat ekspansif. Jaringan jalan yang terpaksa melalui daerah bertanah ekspansif sangat rentan terhadap kerusakan struktur perkerasannya. Tanah dasar yang seharusnya memikul beban lalu lintas menjadi faktor terjadinya kerusakan struktur perkerasan jalan. Rendahnya daya dukung tanah dapat dilihat dari nilai *California Bearing Ratio (CBR)* tanah tersebut. Tanah dasar yang seharusnya mempunyai tingkat kestabilan tinggi guna mendukung struktur perkerasan di atasnya menjadi faktor utama kelabilan struktur karena sifat muai dan susutnya yang besar. Tingkat ekspansif tanah dapat dinilai dari besar-kecilnya nilai *swelling potential* tanah tersebut.

Jika dilihat fakta di atas maka diperlukan suatu perlakuan khusus terhadap tanah dasar yang berdaya dukung rendah dan mempunyai sifat ekspansif. Perlakuan untuk meningkatkan stabilitas dan kapasitas daya dukung tanah dasar tersebut sering disebut dengan stabilisasi tanah. Ada bermacam-macam metode stabilisasi tanah misalnya dengan cara mekanis memakai pemadatan dan trucus bambu maupun kimiawi dengan mencampur semen atau kapur. Keberhasilan dari usaha stabilisasi ini tergantung dari metode, bahan dan alat yang digunakan. Stabilisasi tanah yang dipakai tergantung dari jenis tanah, kondisi daerah setempat dan ketersediaan bahan dan alat.

Berdasarkan alasan-alasan di atas maka penelitian ini direncanakan. Penelitian ini akan melakukan pengamatan terhadap stabilisasi tanah ekspansif memakai metode kimiawi dengan mencampurkan kapur dan aspal emulsi pada kadar tertentu. Pemilihan penggunaan kapur sebagai bahan stabilisasi adalah karena usaha stabilisasi sedapat mungkin menggunakan bahan yang mudah didapatkan dari daerah setempat, dimana Indonesia dengan keragaman geologisnya kaya akan kapur yang potensial. Adapun pertimbangan

pemakaian aspal emulsi adalah karena bahan ini relatif mudah didapatkan. Aspal emulsi juga masih jarang dipakai sebagai bahan stabilisasi sehingga penelitian ini diharapkan menambah wawasan stabilisasi tanah. Pertimbangan lain pemakaian bahan ini adalah relatif mudahnya proses pengerjaan, sehingga aplikasi di lapangan diharapkan tidak memperoleh kendala dan dapat diterapkan dari sisi praktis.

Dari perlakuan dengan pencampuran kapur dan aspal emulsi tersebut diharapkan akan meningkatkan stabilitas tanah ekspansif. Meningkatnya stabilitas akan diamati dari perbandingan nilai *California Bearing Ratio* ( *CBR* ) dan nilai *swelling potential* tanah ekspansif yang mendapat perlakuan dengan penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap tanah ekspansif yang tidak mendapat perlakuan.

## 1.2. Pokok Permasalahan

Berdasarkan permasalahan di atas dapat ditarik beberapa pokok permasalahan dalam penelitian ini. Pokok permasalahan tersebut adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap perilaku kembang-susut tanah yang dilihat dari nilai *swelling potential* tanah ekspansif ?
2. Bagaimana pengaruh penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap kekuatan daya dukung tanah yang tercermin dalam nilai *California Bearing Ratio* ( *CBR* ) tanah ekspansif ?
3. Berapa prosentase optimal aspal emulsi dalam upaya stabilisasi tanah ekspansif bersama kapur ?



### 1.3. Tujuan Penelitian

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk memperkaya wawasan tentang stabilisasi tanah. Sehingga diharapkan semakin luasnya kemungkinan usaha stabilisasi tanah terutama bagi kegunaan di lapangan. Secara khusus penelitian ini ingin mengetahui bagaimana pengaruh penambahan kapur dan aspal emulsi dalam berbagai variasi terhadap stabilisasi tanah setelah diperam dalam berbagai variasi waktu. Secara rinci penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap kembang-susut tanah yang dilihat dari nilai *swelling* tanah ekspansif
2. Untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur dan aspal emulsi terhadap kekuatan daya dukung tanah yang tercermin dalam nilai *California Bearing Ratio (CBR)* tanah ekspansif
3. Untuk mengetahui prosentase optimal aspal emulsi dalam upaya stabilisasi tanah ekspansif bersama kapur

Pada akhir penelitian ini diharapkan bisa dirumuskan mengenai kelayakan usaha stabilisasi tanah ekspansif memakai kapur dan aspal emulsi beserta saran-saran penggunaannya.

### 1.4. Pembatasan Permasalahan

Ruang lingkup penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh kapur dan aspal emulsi terhadap kekuatan tanah yang dilakukan dengan alat CBR ( *California Bearing Ratio* ) dan potensi pengembangan ( *Swelling potential test* ). Pengamatan dilakukan terhadap penelitian di laboratorium.

Contoh tanah yang diteliti berasal dari tanah lempung kabupaten Grobogan Jawa Tengah. Bahan stabilisasi dalam penelitian ini dipakai kapur (CaO) dari kabupaten Grobogan Jawa Tengah dan aspal emulsi jenis CSS-1S produksi PT Hutama Prima Cilacap.

Penggunaan campuran kapur sejumlah 0%, 4% dan 8% terhadap berat tanah kering yang digunakan, dengan masa pemeraman ( *curing* ) 0 hari, 2 hari, 4 hari, dan 7 hari kemudian dicampur dengan aspal emulsi sejumlah 0%, 4%, 6%, 8% terhadap berat tanah kering. Proses pencampuran berlangsung pada kadar air batas susut ( *shrinkage limit* ) sebagai dasar pengujian *swelling*. Kadar air batas susut ( *shrinkage limit* ) diperoleh dengan pengujian batas susut ( *shrinkage limit* ). Proses pencampuran berlangsung pada kadar air optimum ( *Optimum Moistures Content* ) untuk dasar pengujian CBR ( *California Bearing Ratio* ).

### 1.5. Hipotesis

Stabilisasi tanah ekspansif dengan kapur dan aspal emulsi dapat meningkatkan kekuatan tanah, dan memperkecil kembang susut ( *swelling* ). Secara lebih rinci, peningkatan konsentrasi bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi akan diikuti peningkatan CBR, dan penurunan potensi pengembangan ( *swelling potential* ).

### 1.6. Sistematika Penulisan

Dalam penulisan tesis ini terdiri dari tiga bagian yaitu pendahuluan tesis, bagian isi tesis dan bagian akhir tesis. Pada bagian pendahuluan berisi tentang halaman judul, abstraksi, pengesahan, motto dan persembahan, kata pengantar, daftar isi, daftar tabel dan daftar gambar / grafik, dan daftar lampiran.

Pada bagian isi terdiri dari beberapa bab yang masing-masing menguraikan tentang :

Bab I. Pendahuluan berisi tentang latar belakang permasalahan, pokok permasalahan, tujuan penelitian, pembatasan permasalahan dan sistematika penulisan.

Bab II. Tinjauan Pustaka berisi tentang pengertian tanah, tanah dasar, klasifikasi tanah, tanah ekspansif, sifat fisik dan karakter tanah ekspansif, stabilisasi tanah, kapur dan reaksinya dengan tanah ekspansif, aspal emulsi dan reaksinya dengan tanah ekspansif + kapur, daya dukung tanah dan hipotesis.

Bab III. Metodologi Penelitian berisi tentang bahan penelitian, tempat penelitian, persiapan alat dan bahan penelitian serta pelaksanaan penelitian.

Bab IV. Hasil dan Pembahasan berisi tentang hasil penelitian, analisis dan pembahasan data penelitian.

Bab V Kesimpulan dan Saran berisi tentang kesimpulan atas hasil penelitian, dan saran-saran berkaitan hasil penelitian.

Pada bagian akhir tesis berisi tentang daftar pustaka, data hasil penelitian dan lampiran-lampiran.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1. Umum

Penyiapan tanah dasar merupakan hal yang sangat penting untuk pekerjaan konstruksi perkerasan jalan raya. Kekuatan dari konstruksi lapis perkerasan jalan raya tergantung dari kualitas tanah dasar. Kualitas tanah dasar sangat dipengaruhi oleh kondisi, perilaku dan sifatnya. Kondisi tanah yang beragam terbentuk sebagai akibat dari faktor geologi, topografi, morfologi, iklim dan lingkungan. Perilaku dan sifat tanah sangat dipengaruhi oleh komposisi mineral dan unsur-unsur kimianya, tekstur dan partikel-partikelnya serta pengaruh lingkungan di sekitarnya.

Tanah adalah akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan antar partikelnya, yang terbentuk karena pelapukan dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat ruang kosong yang disebut pori-pori (*void*) yang berisi air dan atau udara (Craig, 1991).

Pemahaman terhadap sifat dan perilaku sangat memerlukan pengetahuan tentang mineral dan komposisi kimia non-kristal, oleh karena mineralogi adalah faktor utama untuk mengontrol ukuran, bentuk dan sifat fisik serta kimia dari masing-masing partikel tanah ( Lashari, 2000 ). Pencampuran tanah dengan bahan tambah bisa merubah komposisi mineral dan komposisi unsur kimia tanah asli. Perubahan yang terjadi sesuai dengan kandungan mineral dan unsur kimia yang terdapat pada setiap bahan yang dicampur. Pengetahuan tentang mineralogi dan proses kimia dalam stabilisasi tanah sangat kompleks. Sehingga didalam penelitian ini difokuskan pada sifat mekanik yang berupa kekuatan dukung tanah yang tercermin dalam nilai CBR ( *California Bearing Ratio* ) dan stabilitas tanah yang terlihat dari nilai *swelling*-nya.

## 2.2. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah digunakan untuk mengelompokkan tanah-tanah sesuai perilaku dari tanah pada kondisi fisis tertentu. Tanah-tanah yang dikelompokkan dalam urutan berdasarkan satu kondisi fisis tertentu bisa saja mempunyai urutan yang tidak sama jika didasarkan pada kondisi fisis yang lainnya ( Dunn I.S., 1991 ). Menurut Terzaghi (1987) secara umum klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisa saringan dan plastisitas.

Dalam bidang rekayasa jalan dikenal beberapa klasifikasi tanah. Beberapa klasifikasi tersebut antara lain :

1. Sistem klasifikasi tanah Inggris ( *British Standard Soil Classification* )
2. Sistem klasifikasi menurut AASHTO
3. Sistem klasifikasi menurut ASTM ( *American Society for Testing and Material* )

Dalam penelitian ini memakai klasifikasi menurut ASTM ( *American Society for Testing and Material* ) berkaitan dengan peralatan yang dipergunakan memakai standar ASTM.

Sistem klasifikasi ASTM mengelompokkan tanah dengan menggunakan simbol prefiks untuk menunjukkan jenis tanah dan simbol subfiks untuk menunjukkan subdevisi di dalam kelompok, seperti terlihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1. Kelompok Tanah dengan simbol prefiks dan subfiks

Jenis Tanah	Prefiks	Sub Kelompok	Subfiks
Kerikil	G	Gradasi Baik	W
		Gradasi Buruk	P
Pasir	S	Berlanau	M
		Berlempung	C
Lanau	M		
Lempung	C	WL < 50 %	L
Organik	O	WL > 50 %	H
Gambut	Pt		

Sumber : Das, B.M., 1987

Menurut sistem klasifikasi ini, tanah berbutir kasar apabila lebih dari 50 % tertahan saringan no. 200, dan berbutir halus apabila 50 % atau lebih lolos saringan no. 200. Tanah

berbutir kasar ( G atau S ) bergradasi baik ( *well graded* ) apabila susunan ukuran butirnya tidak seragam, yaitu terdapat distribusi yang merata dari ukuran-ukuran butir yang ada. Untuk mengetahui distribusi butiran dilakukan analisa saringan, sedangkan untuk mengetahui kemiringan dan bentuk umum dari kurva distribusi dapat digambarkan oleh koefisien keseragaman ( *coefficient of uniform* ). Cu dan koefisien gradasi ( *coefficient of gradation* ), Cc yang diberikan menurut persamaan :

$$Cu = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad \dots\dots\dots (2.1)$$

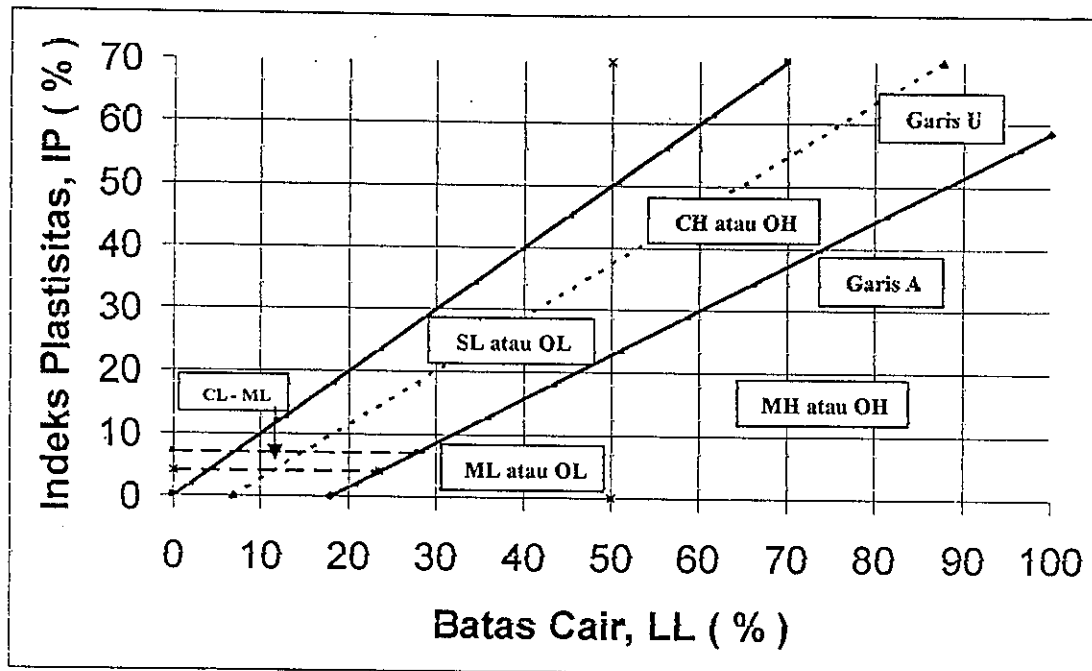
$$Cc = \frac{D_{30}^2}{D_{60} * D_{10}} \quad \dots\dots\dots (2.2)$$

D10, D30 dan D60 adalah diameter butir yang dihubungkan untuk masing-masing 10%, 30% dan 60% pada grafik butir komulatif selengkapnya dapat dilihat pada Tabel 2.2. dan Gambar 2.1.

Tabel 2.2. Klasifikasi tanah sistem ASTM

				Klasifikasi Tanah	
				Simbol Group	Nama Group
TANAH BERBUTIR KASAR  Lebih dari 50% Tertahan Saringan No. 200	KERIKIL Lebih dari 50% Fraksi kasar tertahan saringan no. 4	Kerikil bersih (btr hls<5%)	Cu>4 dan 1< Cc<3	GW	Krkl grad baik
			Cu<4 dan 1>Cc>3	GP	Krkl grad jelek
		Kerikil (btr hls>12%)	Fine klasifikasi ML atau MH	GM	Kerikil berlanau
			Fine klasifikasi CL atau CH	GC	Kerikil berlempung
	PASIR 50% / lebih Fraksi kasar lolos saringan no. 4	Pasir bersih (btr hls<5%)	Cu>6 dan 1< Cc<3	SW	Psr grad baik
			Cu<6 dan 1>Cc>3	SP	Psr grad jelek
		Pasir (btr hls>12%)	Fine klasifikasi ML atau MH	SM	Pasir berlanau
			Fine klasifikasi CL atau CH	SC	Pasir berlempung
TANAH BERBUTIR HALUS 50% atau lebih lolos saringan No. 200	LANAU & LEMPUNG Bts cair<50%	Anorganik	PI<7% dan di atas grs A	CL	Lempung kurus
			PI<4% dan di bwh grs A	ML	Lanau
		Organik	Batas cair – kering oven	OL	Lempung Org Lanau Org
			Batas cair – blm kering		
	LANAU & LEMPUNG Bts cair>50%	Anorganik	PI diatas garis A	CH	Lempung gemuk
			PI dibawah garis A	MH	Lanau elastis
		Organik	Batas cair – kering oven	OL	Lempung Org Lanau Org
			Batas cair – blm kering		
Tanah organik	Tinggi	Gambut & tnh berorganik tinggi, gelap	PT	Pent	

Sumber : American Society for Testing and Material, 1989



Gambar 2.1. Grafik Plastisitas sistem ASTM dalam ASTM ( 1989 )

### 2.3. Identifikasi Tanah Ekspansif

Tanah dengan karakter ekspansif ditemukan pada jenis tanah lempung (*clay*). Tanah lempung dapat diidentifikasi berdasarkan ukuran partikel, indeks plastisitas, batas cair dan kandungan mineral. ASTM mensyaratkan lebih dari 50 % lolos saringan no. 200 (0,075 mm) dengan indeks plastisitas minimum 35 %. Ukuran partikel kandungan mineral yang lazim dijumpai tertera dalam Tabel 2.3, pada tanah lempung yang berukuran partikel lebih kecil 0,2  $\mu\text{m}$  unsur yang dominan adalah *montmorillonite*, *beidellite* dan *illite*. Sedangkan tanah lempung yang berukuran partikel lebih besar dari 0,2  $\mu\text{m}$  unsur mineral yang dominan adalah *kaolinite*, *micas*, *illite* dan *felspar*. Beberapa rentang ukuran mineral berdasarkan hasil penelitian Soveri (1950) yang dikutip Lashari (2000) tercantum dalam Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Rentang ukuran beberapa mineral lempung

Ukuran partikel ( $\mu\text{m}$ )	Unsur pokok yang dominan	Unsur pokok yang biasa	Unsur pokok yang jarang
0,1	Montmorillonite, Beidellite	Illite (intermediate)	Illite (traces)
0,1-0,2	Illite (intermediate)	Kaolinite, Montmorillonite	Illite, Quartz (traces)
0,2-2,0	Kaolinite	Illite, Mica (intermediate), Micas, Halloysite, Quartz	Quartz, Montmorillonite, Felspar
2,0-11,0	Micas, Illite, Felspar	Kaolinite	Halloysite (traces), Montmorillonite (traces)

Sumber : Soveri dalam Lashari, 2000

Tanah ekspansif adalah suatu jenis tanah yang memiliki derajat pengembangan volume yang tinggi sampai sangat tinggi, biasanya ditemukan pada jenis tanah lempung yang sifat fisiknya sangat terpengaruh oleh air. Pada tanah jenis ini apabila terpengaruh air akan mengalami pengembangan volume disertai gaya tekan akibat pengembangan tersebut. Sebaliknya apabila tanah ini mengalami pengeringan sampai kadar airnya hilang akan terjadi penyusutan volume disertai retak-retak pada lapisan tanah. Ciri yang mudah diamati secara visual tentang jenis tanah ini adalah permukaan tanah yang tampak kaku / tegang. Potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif dipengaruhi berdasarkan *soil properties* dari tanah tersebut.

Beberapa ahli telah mengidentifikasi pengaruh *soil properties* terhadap potensi pengembangan dan penyusutan tanah ekspansif tersebut. Holtz dan Kovacs ( 1981 ) menunjukkan bahwa *plasticity index* dan *liquid limit* berguna dalam penentuan karakteristik pemuai tanah lempung. Seed et al. ( 1964 ) membuktikan bahwa hanya dengan *plasticity index* saja sudah cukup untuk indikasi tentang karakteristik pemuai tanah lempung. Oleh Seed et al. (1964 ) dirumuskan suatu persamaan untuk menunjukkan



hubungan antara potensi pengembangan ( *swell potential* ) dengan *plasticity index* sebagai berikut :

$$S = 60 k (PI)^{2,44} \quad \dots\dots\dots (2.3)$$

keterangan :  $S$  = *Swell Potential*                       $PI$  = *Plasticity Index*

$$k = 3,6 \times 10^{-5}$$

Hubungan antara swelling potential dengan plasticity index ditunjukkan dalam Tabel 2.4. dibawah ini.

Tabel 2.4. Hubungan swelling potential dengan plasticity index

SWELL POTENTIAL	PI
Low	0 – 15
Medium	10 – 35
High	20 – 55
Very High	> 35

*Sumber : Chen, 1975*

Holtz ( 1956 ) menyusun suatu identifikasi tentang kriteria tingkat ekspansif suatu tanah berdasarkan Gambar 2.2. yang kemudian disempurnakan oleh Chen ( 1975 ). Tabel identifikasi dari Holtz tersebut terdapat dalam Tabel 2.5. Altmeyer ( 1955 ) menyusun identifikasi berdasarkan batas susut, identifikasi tersebut terdapat dalam Tabel 2.6.

Tabel 2.5. Data estimasi kemungkinan perubahan volume tanah-tanah *ekspansif*

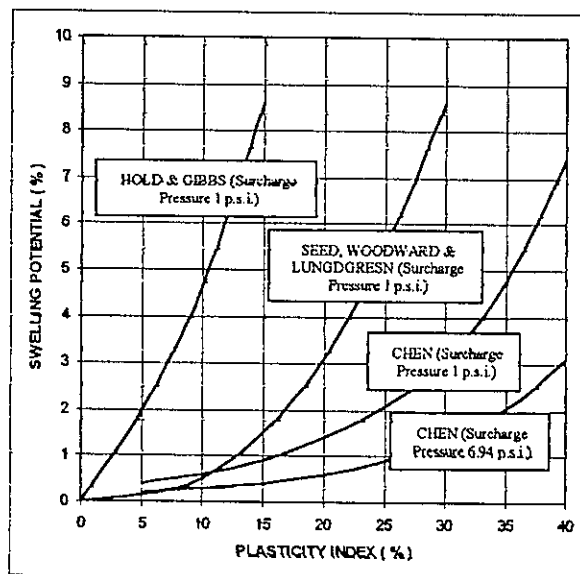
Data from index tests			Probable expansoin, percent total vol change	Degree of expansion
Colloid Content percent minus 0,001 mm	Plasticity Index	Shrinkage Index		
> 28	> 35	< 11	> 30	Very high
20 – 13	25 – 41	7 – 12	20 – 30	High
13 – 23	15 – 28	10 – 16	10 – 30	Medium
< 15	< 18	> 15	< 10	Low

*Sumber : Holtz and Gibbs, 1956*

Tabel 2.6. Tingkat ekspansif tanah berdasarkan batas susut

Linear Shrinkage	Shrinkage Index	Probable Swell (%)	Degree of expansion
> 5	> 12	< 0,5	Noncritical
5 – 8	10 – 12	0,5 – 1,5	Marginal
< 8	< 10	> 1,5	Critical

Sumber : Altmeyer, 1955



Gambar 2.2. Hubungan antara perubahan volume dengan PI oleh Holtz, Seed dan Chen, dalam Chen ( 1975 )

## 2.4. Mineralogi Tanah Ekspansif

Tanah ekspansif yang merupakan tanah lempung adalah aluminium silikat hidrat yang tidak terlalu murni, terbentuk sebagai hasil pelapukan dari batuan beku akibat reaksi kimia, yang mengandung felspar sebagai salah satu mineral asli ( Austin, 1985 ). Proses ini dapat meliputi kristalisasi dari suatu larutan, pelapukan dari mineral silikat dan batuan, penyusunan kembali mineral-mineral serta pertukaran ion, dan perubahan beserta pembentukan mineral baru dan batuan karena proses hidrotermal. Proses ini dapat berlanjut bilamana terjadi rekayasa dalam proses buatan di laboratorium atau di lapangan dalam waktu yang lama. Salah satu sifat yang menonjol dari lempung adalah sifat plastis, rentang

keplastisannya sangat dipengaruhi oleh kondisi fisik lempung dan kandungan ketidakmurniannya yang menjadi sebab timbulnya bermacam-macam jenis lempung (Lashari, 2000).

Bermula dari salah satu proses atau beberapa proses yang berjalan dalam rentang waktu yang bersamaan atau sebagian bersamaan akan terbentuk mineral lempung yang beragam. Umumnya terdapat sekitar 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (Hardiyatmo, 1992). Diantaranya sekelompok dalam lempung adalah *kaolinite*, *illite* dan *montmorillonite* dan kelompok lain *chlorite*, *vermiculite* dan *halloysite*.

Sejumlah spesies mineral yang disebut mineral lempung, yang mengandung terutama campuran *kaolinite* ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), *montmorillonite* [ $(\text{Mg}, \text{Ca})\text{O} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ] dan *illite* ( $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ ), masing-masing dalam berbagai kuantitas. Menurut Holtz and Kovacs (1981), bahwa susunan kebanyakan tanah lempung berupa unit lembar kristal terdiri dari silika tetrahedral dan alumina oktahedral. Lembaran yang berbentuk tetrahedral merupakan kombinasi dari silika tetrahedron yang terdiri dari atom Si yang dikelilingi oleh ion oksigen pada keempat ujung-ujungnya. Sedangkan untuk lembaran yang berbentuk oktahedral merupakan kombinasi dari alumina oktahedron yang terdiri dari atom Al yang dikelilingi oleh hidroksil yang dapat berupa ion aluminium, magnesium, besi dan atom lainnya.

Menurut Lashari (2000), *kaolinite* tersusun dari satu lembar silika tetrahedral dengan satu lembar alumina oktahedral, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Setiap lapis yang terdiri dari satu lembar silika tetrahedral dan satu lembar alumina oktahedral.

*Montmorillonite* yang kadang-kadang disebut *smectite* dalam satu lapis tersusun dua lembar silika mengapit satu lembar alumina (*gibbsite*). Ujung tetrahedral tercampur dengan hidroksil dari ujung oktahedral sehingga menjadikan ikatan menyatu. Karena gaya ikatan

yang lemah diantara ujung lembaran silika dan terdapat kekurangan muatan negatif pada ujung oktahedral, maka air dan ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan membuat lapis terpisah, sehingga kristal *montmorillonite* dapat sangat kecil tetapi dalam waktu sama dapat menarik air dengan kuat. Dari sifat ini, tanah yang mengandung *montmorillonite* mengalami kembang susut yang besar.

*Illite* mempunyai bentuk susunan dasar hampir sama dengan *montmorillonite* yaitu terdiri dari sebuah lembaran aluminium oktahedral yang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedral, hanya perbedaannya adalah pada ikatan, dalam lembaran oktahedral terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran tetrahedral terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium. Sedangkan lembaran-lembaran terikat bersama oleh ion-ion kalium dengan ikatan lemah yang terdapat diantara lembaran-lembarannya.

Luas permukaan spesifik, mengindikasikan besarnya kemampuan dalam pertukaran kation tanah *ekspansif*, semakin besar luas permukaan spesifik akan memperbanyak terjadinya pertukaran kation. Mineral *montmorillonite*, adalah jenis mineral yang mempunyai luas permukaan spesifik terbesar dengan kapasitas pertukaran kation terbesar dari kelompok mineralnya, disusul berturut-turut mineral *illite* dan *kaolinite*. Banyaknya pertukaran kation pada jenis mineral dan luas permukaan spesifik jenis mineral dapat dilihat pada Tabel 2.7.

Tabel 2.7. Rentang pertukaran kation dalam mineral tanah *ekspansif*

PARAMETER	Kaolinite	Illite	Montmorillonite
Tebal	(0,5 - 2) micron	(0,003 - 0,1) micron	< 9,5 Å°
Diameter	(0,5 - 4) micron	(0,5 - 10) micron	(0,05 - 10) micron
Luas spesifik (m <sup>2</sup> /gr)	10 - 20	65 - 180	50 - 840
Pertukaran kation (miliekivalen per 100 gr)	3 - 15	10 - 40	70 - 80

Sumber : Seed et al., 1964

Skempton ( 1953 ) menyatakan suatu analisis aktivitas tanah berdasarkan indeks plastisitas dengan presentasi berat fraksi lempung  $< 2 \mu\text{m}$ . Formula aktivitas tersebut dapat dituliskan sebagai berikut :

$$A = \frac{PI}{\%lempung} \dots\dots\dots ( 2.4 )$$

Keterangan :

A = Aktivitas ; PI = *Plasticity Index* ; %lempung = Persen berat fraksi lempung

Skempton ( 1953 ) mengklasifikasikan tanah berdasarkan aktivitasnya. Klasifikasi tersebut adalah tanah aktif dengan nilai aktivitas di atas 1.25 , tanah normal dengan nilai aktivitas 0.75 – 1.25 dan tanah tidak aktif dengan nilai aktivitas dibawah 0.75. Skempton (1953) juga menyusun hubungan antara mineral yang terkandung di dalam tanah, batas-batas Atterberg dan nilai aktivitasnya seperti tercantum dalam Tabel 2.8.

Tabel 2.8. Karakteristik Mineral Utama Tanah

MINERAL	LL (%)	PL (%)	SI (%)	Aktivitas (PI / % clay)
Kaolinites	30 - 100	25 - 40	25 - 40	0.38
Illites	60 - 120	35 - 60	35 - 60	0.9
Montmorillonites	100 - 900	50 - 100	50 - 100	7.2

Sumber : Skempton, 1953

## 2.5. Sifat-Sifat Fisik Tanah Ekspansif

### a. Kadar Air ( *Moisture Content* )

Jika kadar air / *moisture content* dari suatu tanah ekspansif tidak berubah berarti tidak ada perubahan volume dan struktur yang ada di atas lempung tidak akan terjadi pergerakan yang diakibatkan oleh pengangkatan ( *heaving* ). Tetapi jika terjadi penambahan kadar air maka terjadi pengembangan volume ( *expansion* ) dengan arah vertikal dan horisontal. Menurut Holtz dan Seed dalam Chen, F.H. ( 1975 )

mengemukakan tanah lempung dengan kadar air alami dibawah 15 % biasanya menunjukkan indikasi berbahaya. Lempung akan mudah menyerap air sampai kadar air 35 % dan mengakibatkan kerusakan struktur akibat pemuaian tanah. Sebaliknya apabila tanah lempung tersebut mempunyai kadar air diatas 30 %, itu berarti bahwa pemuaian tanah telah terjadi dan pemuaian lebih lanjut akan kecil sekali.

b. Berat Jenis Kering ( *Dry Density* )

Berat jenis kering lempung merupakan indikasi lain dari ekspansi tanah. Tanah dengan berat jenis kering lebih dari 110 pcf ( 1,762 gr / cm<sup>3</sup> ) menunjukkan potensi pengembangan yang tinggi. Apabila dalam penggalian tanah dijumpai kesulitan yang menyangkut kondisi tanah yang keras seperti batu, hal itu merupakan indikasi bahwa tanah tersebut mempunyai sifat tanah ekspansif. Berat jenis kering lempung juga dapat dilihat dari hasil test *standard penetration resistance*-nya. Lempung dengan *penetration resistance* lebih dari 15 biasanya menunjukkan adanya potensi *swelling*.

b. Kelelahan Pengembangan ( *Fatigue of Swelling* )

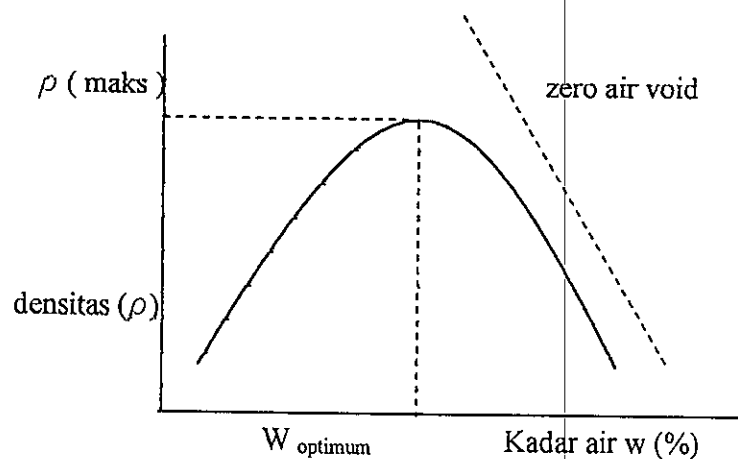
Gejala *fatigue of swelling* ( kelelahan pemuaian ) telah diselidiki dengan cara penelitian siklus / pengulangan pembasahan dan pengeringan yang berulang. Hasil penelitian menunjukkan pemuaian tanah pada siklus pertama lebih besar daripada siklus berikutnya. Kelelahan pemuaian tanah ( *fatigue of swelling* ) diindikasikan sebagai jawaban yang melengkapi hasil penelitian tersebut. Sehingga dapat disimpulkan bahwa suatu pavement yang ditempatkan pada tanah ekspansif yang mengalami siklus iklim yang menyebabkan terjadinya pengeringan dan pembasahan secara berulang mempunyai tendensi untuk mencapai suatu stabilitas setelah beberapa tahun atau beberapa kali siklus basah – kering.

## 2.6. Karakteristik Mekanis Tanah Ekspansif

Kekuatan mekanis tanah disebabkan oleh banyak faktor antara lain jenis dan komposisi mineral, kerapatan tanah atau berat volume tanah, dan kandungan air di dalamnya. Salah satu usaha meningkatkan kekuatan tanah adalah menambah berat volume tanah dengan cara memberi tekanan supaya susunan butir tanah dapat lebih rapat sehingga volumenya meningkat.

### a. Pemadatan

Pemadatan pada prinsipnya adalah mengurangi volume rongga (*volume void*) yang berisi udara tanpa mengurangi volume rongga yang berisi air. Terdapat tiga komponen untuk merubah berat volume tanah, yaitu sifat dasar dari tanah yang tergantung dari jenis mineral dan komposisinya dalam tanah, kadar air dan energi pemadatan yang diberikan.



Gambar 2.3. Hubungan densitas dan kadar air

Energi yang dipakai dan kandungan air di dalam tanah dalam setiap konsentrasi tertentu mempunyai pengaruh terhadap berat volume tanah yang berlainan. Dengan energi yang ditetapkan dapat diketahui hubungan antara kadar air dengan densitas tanah, seperti tergambar pada Gambar 2.3.

b. CBR ( California Bearing Ratio )

CBR digunakan untuk menentukan tahanan penetrasi material terhadap tahanan penetrasi standar yang dinyatakan dalam %. Besarnya nilai CBR dipakai untuk menentukan ketebalan lapis tanah bawah jalan.

Hasil pengujian CBR dapat diperoleh dengan mengukur besarnya beban pada penetrasi 0,1" atau 0,2" dengan perhitungan sebagai berikut :

Penetrasi 0,1"

$$CBR(\%) = \frac{P1}{1000} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.5)$$

Penetrasi 0,2"

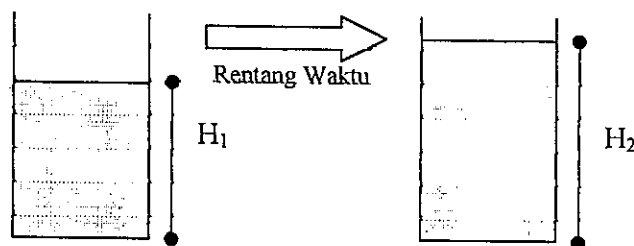
$$CBR(\%) = \frac{P2}{1500} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan = harga P1 dan P2 dalam psi

Dari kedua nilai perhitungan tersebut diambil nilai yang terbesar

c. Potensi Pengembangan ( *swelling potential* )

Penambahan air dalam tanah berbutir halus atau lempung akan mengakibatkan terjadinya perubahan volume tanah. Untuk lebih jelasnya keadaan tersebut diilustrasikan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4. Pengaruh penambahan air

Nilai pengembangan yang terjadi dapat dihitung dengan persamaan berikut ini :

$$Pengembangan = \frac{\Delta H}{H1} \times 100\% \quad \dots\dots\dots (2.7)$$



Keterangan :

$$\Delta H = H_2 - H_1$$

$\Delta H$  = Pengembangan akibat peningkatan air ( cm )

$H_1$  = Tinggi benda uji sebelum penambahan air ( cm )

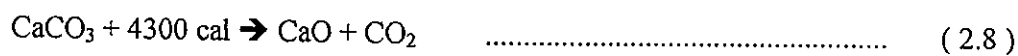
$H_2$  = tinggi benda uji sesudah penambahan air ( cm )

## 2.7. Sifat-Sifat Kapur

Istilah kapur mengandung tiga pengertian yaitu kalsium karbonat (  $\text{CaCO}_3$  ) untuk keperluan pertanian, kalsium hidroksida (  $\text{Ca(OH)}_2$  ) yang terhidrasi atau kapur mati ( *slake lime* ), dan kalsium oksida (  $\text{CaO}$  ) yang disebut kapur hidup atau *quick lime*.

Sebagai bahan stabilisasi biasanya digunakan kapur mati ( *slake lime* ) atau kalsium hidroksida (  $\text{Ca(OH)}_2$  ) dan kapur hidup atau kalsium oksida (  $\text{CaO}$  ). Kalsium oksida (  $\text{CaO}$  ) lebih efektif pada kasus-kasus tertentu, kapur jenis ini mempunyai kelemahan-kelemahan pada pelaksanaannya, dapat membuat alat-alat mudah berkarat, mudah bertebarannya serbuk kapur dan menyebabkan terbakarnya kulit pekerja. Dari beberapa permasalahan di dalam pelaksanaan stabilisasi maka kapur mati (  $\text{Ca(OH)}_2$  ) sebagai bahan stabilisasi lebih sering digunakan. Sedangkan kalsium karbonat (  $\text{CaCO}_3$  ) kurang efektif sebagai bahan stabilisasi kecuali sebagai bahan pengisi ( *filler* ). Proses stabilisasi sangat tergantung dari keaktifan kimia dan tanah asli membentuk sementasi.

Kapur diperoleh dari hasil pembakaran kalsium karbonat ( batu kapur alami ) sampai semua karbondioksida terbakar. Reaksi pembentukan kalsium oksida ( *quick lime* ) adalah sebagai berikut :



Pada persamaan 2.1, merupakan reaksi proses pembakaran kapur menjadi kalsium oksida. Proses tersebut pada dasarnya endometris, secara teoritis 4300 kalori panas diperlukan untuk mengurai 1 mol  $\text{CaCO}_3$  menjadi kalsium oksida (  $\text{CaO}$  ). Kalsium oksida dapat dihidrasi berdasarkan reaksi dibawah ini :



Proses tersebut sangat sulit jika menggunakan MgO dan terjadi dibawah tekanan. Pada keadaan normal terjadi reaksi sebagai berikut :



Yang diproduksi adalah kapur dolomit monohidrat dan senyawa  $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{Mg}(\text{OH})_2$  yang terbentuk dibawah tekanan. Dengan demikian kalsium hidroksida sekali lagi ditransformasikan dan reaksinya adalah :



Asam karbonat diproduksi dari kandungan karbon dioksida pada tanah dan air bebas. Kalau tercampur dengan struktur tanah terjadi transformasi dan penggumpalan partikel-partikel lempung, sehingga membentuk partikel dengan ukuran yang lebih besar. Akibat kejadian ini akan mengubah batas-batas Atterberg dan sifat pemadatan ( Lashari, 2000 ).

## 2.8. Stabilisasi tanah dengan kapur

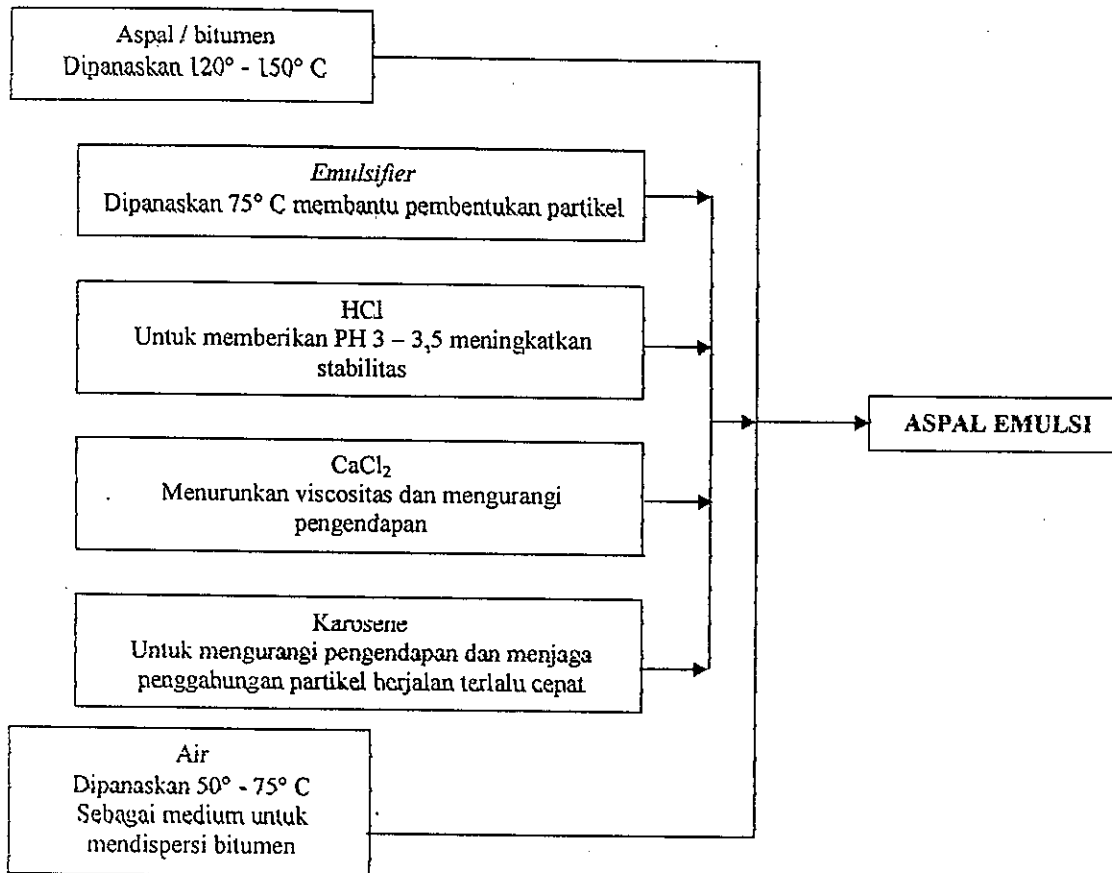
Mencampur tanah dengan kapur berarti suatu stabilisasi kimia dengan bahan tambahan dalam bentuk kalsium oksida atau kalsium hidroksida dengan suatu proses pemadatan dengan kandungan air tertentu. Akibat ditambahkan kalsium maka akan mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan kekuatan dan daya dukung tanah, mengurangi penyerapan air dan volume pengembangan ( *swelling potential* ) yang diakibatkan oleh air.

Berdasarkan proses yang telah diuraikan, maka kapur akan mempengaruhi sifat-sifat fisik dan mekanik tanah. Pengaruh sifat mekanis tanah campur kapur sangat bervariasi tergantung pada : jenis tanah, jenis dan kadar kapur, masa tunggu perawatan ( *curing* ), dan faktor-faktor lain seperti variasi penggunaan air.

Ingels dan Metchalf ( 1972 ) menunjukkan nilai indek plastisitas yang menurun tajam dengan penambahan kapur. Hal tersebut menyebabkan peningkatan dari batas plastisnya. Pengaruh penambahan kapur pada tanah akan mempengaruhi berkurangnya perubahan volume serta spesifik pengembangannya. Salah satu yang penting akibat stabilisasi kapur adalah peningkatan kekuatan walaupun pengaruh ini juga tergantung hal-hal lain. Terutama kalsium, peningkatan kekuatan sebagai fungsi dari peningkatan kalsiumnya. Pengaruh ini cukup menarik dengan memperbandingkan masa perawatannya. Pada masa perawatan yang lama terjadi peningkatan kekuatan yang relatif kecil pada konsentrasi kapur dibawah 2 % dan selama terjadinya proses hidrasi, kadar air dalam tanah campuran akan berkurang sekitar 32 % dari berat kering kapur.

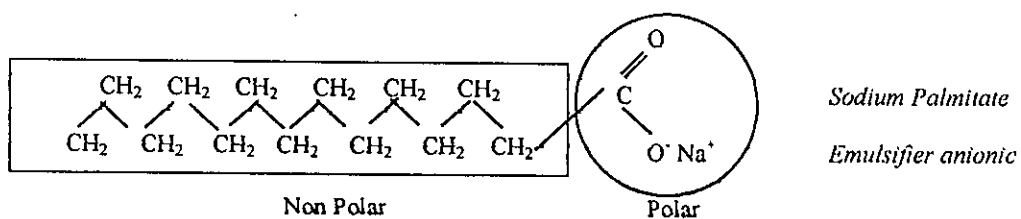
## 2.9. Aspal Emulsi

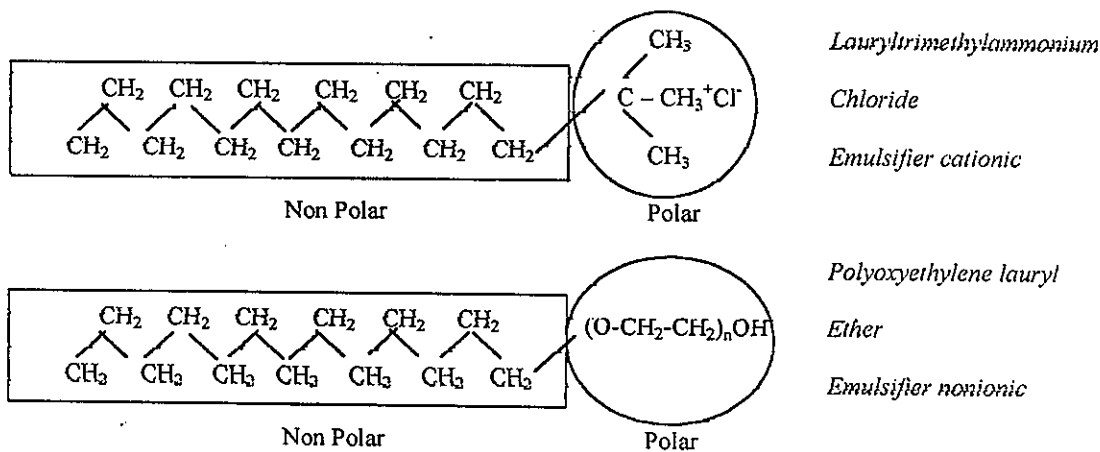
Aspal emulsi merupakan aspal yang didispersikan secara merata ke dalam air. Untuk dapat mendispersikan aspal yang bersifat non polar ke dalam air yang bersifat polar diperlukan bahan pengemulsi atau *emulsifier* yang molekulnya memiliki bagian polar dan non polar, bagian polar dari *emulsifier* akan larut dalam air, sedangkan bagian non polar akan larut dalam aspal. Bila aspal, air dan emulsifier masing-masing dalam jumlah yang optimum dicampur dengan alat colloid mill pada temperatur tertentu akan menyebabkan terbentuknya butiran-butiran kecil aspal yang terlapisi lapisan polar dari *emulsifier* hingga aspal tersebut dapat terdispersi dalam air ( Puslitbang Jalan dalam Priyatno, 2000 ). Bagan proses pembuatan aspal emulsi dapat dilihat pada Gambar 2.5.



Gambar 2.5. Proses pembuatan aspal emulsi

Pada aspal emulsi dikenal tiga jenis *emulsifier* yang biasa digunakan yaitu *emulsifier* kationik, *emulsifier* anionik dan *emulsifier* nonionik. *Emulsifier* kationik digunakan untuk membuat aspal emulsi kationik, *emulsifier* anionik dan *emulsifier* nonionik digunakan untuk membuat aspal emulsi nonionik. Ilustrasi untuk menggambarkan hubungan emulsifier terdapat dalam Gambar 2.6.





Gambar 2.6. Emulsifier anionik, Kationik dan nonionik

Dari jenis aspal di atas yang banyak digunakan adalah jenis aspal kationik dan anionik, di Indonesia saat ini baru diproduksi aspal emulsi jenis kationik. Produksi jenis aspal kationik ini didasarkan pada kenyataan di sumber-sumber agregat Indonesia mengandung komponen terbesar  $\text{SiO}_2$  (silika). Diketahui bahwa silika mempunyai kecenderungan bermuatan negatif. Sehingga untuk jenis konstruksi perkerasan jalan dengan bahan ikat aspal emulsi akan lebih baik jika digunakan aspal emulsi yang bermuatan positif yaitu jenis emulsi kationik (Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dalam Priyatno, 2000).

Aspal emulsi memiliki beberapa sifat khas yang harus diperhatikan di dalam pemakaian di lapangan. Beberapa sifat aspal emulsi tersebut adalah sebagai berikut :

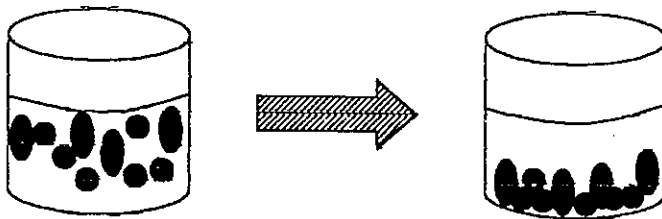
a. *Settlement*

*Settlement* adalah proses pengendapan karena fase aspal atau salah satu bagiannya bergerak ke arah dasar dari dasar tempat emulsi. Suatu penurunan emulsi diartikan bahwa emulsi tidak stabil. Dalam keadaan seperti ini pengadukan tidak dapat mengembalikan kualitas dari emulsi. Derajat penurunan suatu emulsi mengindikasikan waktu penyimpanannya. *Settlement* terjadi karena gaya gravitasi dan perbedaan kepadatan antara dua fase. Jika perbedaan fase ini kecil masih dimungkinkan terjadinya *settlement*, hal

tersebut terjadi jikalau emulsi mengandung butiran besar dan kandungan aspal lebih rendah dari 65 %. Kecepatan butiran-butiran bergerak tergantung pada kandungan aspal pada emulsi, semakin kecil kandungan aspalnya mengakibatkan kecepatan *settlemen* meningkat dan sebaliknya. Beberapa metode untuk mencegah atau mengurangi *settlement* adalah sebagai berikut :

1. Mengurangi kepadatan fase aspal dengan menambah bahan pengencer / *solvent*,
2. Meningkatkan *viskositas* fase air dengan menambah suatu bahan pengental,
3. Mencegah *flokulasi* dengan mengubah tipe dan konsentrasi penstabil dan emulsifier atau dengan mengubah pHnya,
4. Mengurangi ukuran butiran ( misalnya dengan mills ),
5. Memperbaiki kondisi penyimpanan ( misalnya menjaga agar temperatur emulsi lebih tinggi dari temperatur dasar )

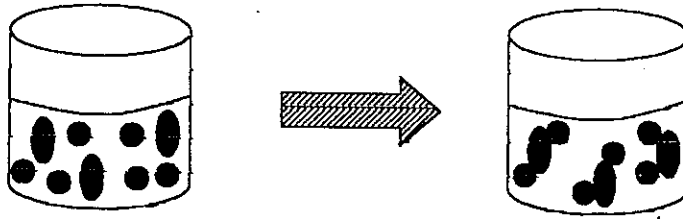
Ilustrasi yang menggambarkan proses *settlement* dapat dilihat pada Gambar 2.7.



Gambar 2.7. Proses *Settlement*

#### b. Flokulasi

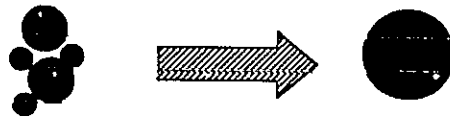
Flokulasi adalah suatu proses yang terjadi antar butir emulsi. Pada kejadian flokulasi butiran-butiran emulsi saling menempel. Sering kali dijumpai butiran yang lebih kecil menempel mengelilingi butiran yang lebih besar. Kondisi ini bisa diatasi dengan pengadukan. Ilustrasi yang menggambarkan proses flokulasi terdapat dalam Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Proses flokulasi

c. *Coalescence*

*Coalescence* adalah kondisi apabila butiran-butiran dalam emulsi bergabung membentuk butiran lebih besar. *Flokulasi* biasanya diikuti dengan proses *coalescence*. Ilustrasi proses *Coalescence* terdapat dalam Gambar 2.9.

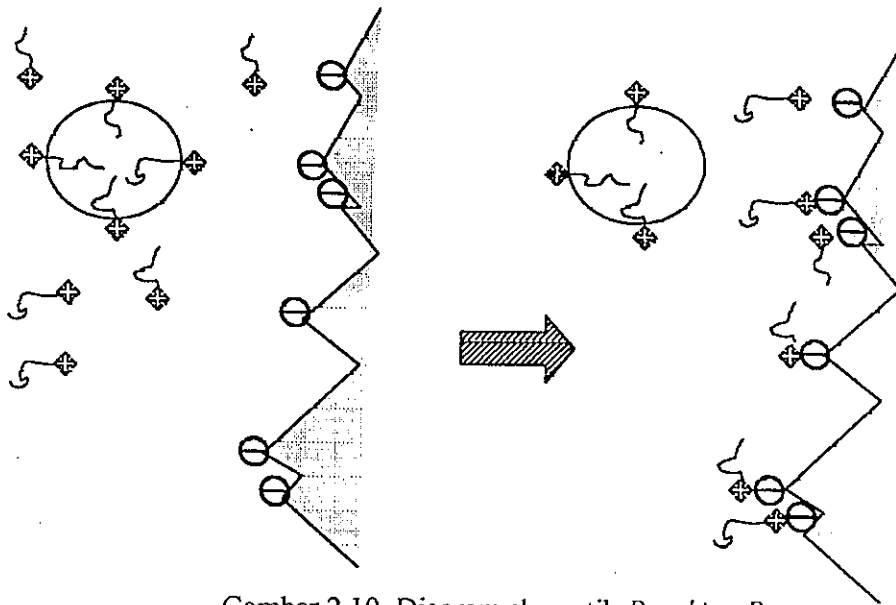
Gambar 2.9. Proses *coalescence*

Proses penggabungan ini terjadi karena gerakan mekanis seperti pengadukan, pemompaan dan penggetaran.

d. *Breaking*

*Breaking* merupakan proses dari pelepasan ion-ion dalam emulsi yang akan mengakibatkan emulsi tidak stabil. Penyerapan ion-ion pengemulsi pada permukaan tanah mengubah sifat permukaannya dari *hidrophilic* ke *lipophilic*, sehingga aspal yang dikeluarkan dalam proses *breaking* dapat dengan mudah menempel pada permukaan tanah. Pada kondisi penyimpanan emulsi harus diusahakan dalam keadaan stabil. Namun pada kondisi pemakaian pada agregat mineral atau permukaan perkerasan, emulsi akan mengalami *breaking*. *Breaking* ini dipengaruhi oleh tipe dan ukuran pengemulsi, tipe tanah

atau mineral, temperatur dan kondisi iklim. Ilustrasi proses *breaking* ada pada Gambar 2.10.



Gambar 2.10. Diagram skematik *Breaking Proses*

e. *Adhesi*

*Adhesi* adalah proses melekatnya dua unsur yang berbeda. Dalam proses ini adalah aspal dengan permukaan tanah atau mineral. *Adhesi* merupakan akibat logis dari *breaking*. Setelah proses *breaking* berlangsung, secara perlahan aspal akan berpisah dengan air. Permukaan tanah sekarang diselimuti oleh bitumen yang terlepas dari *emulsifier*. Proses pemisahan aspal dari airnya dan kemudian melekat / mengikat pada permukaan tanah ini disebut *setting* ( Sukarno AW dalam Priyatno, 2000 ). Sehubungan dengan proses *setting* ini, aspal emulsi dapat dikategorikan dalam 3 kelompok, yaitu :

1. *Slow setting* ( SS ), merupakan aspal emulsi dengan tipe pengikatan lambat digunakan untuk campuran dengan menggunakan agregat halus,
2. *Medium setting* ( MS ), merupakan aspal emulsi dengan tipe pengikatan sedang, digunakan untuk campuran dengan menggunakan agregat kasar,



3. *Rapid setting* ( RS ), merupakan aspal emulsi dengan tipe pengikatan cepat tidak dapat dicampur dengan agregat, tetapi sebagai lapis perekat antar lapisan.

## 2.10. Stabilisasi Tanah – Kapur dengan Aspal

Dunn et al. ( 1991 ) menyatakan bahwa penggunaan utama dari bahan-bahan bitumen adalah pada pembuatan jalan, dimana bahan ini menjadi bahan campuran bagi lapis aus atau digunakan pada lapis bawah dan lapis dasar untuk menstabilisasi tanah.

Chen ( 1975 ) menyatakan bahwa penambahan kapur pada tanah ekspansif akan mengurangi kadar plastis tanah yang kemudian akan mengurangi potensi kembang susutnya.

Berdasarkan beberapa hal pada landasan teori di atas diketahui bahwa tingkat kembang-susut tanah ekspansif sangat dipengaruhi oleh kadar air yang terkandung di dalamnya. Sedangkan kadar air tersebut sangat dipengaruhi oleh tingkat permeabilitas tanah tersebut yang sangat bergantung kepada *void ratio* ( prosentase luas rongga ) tanah. Dalam penelitian ini akan diusahakan langkah-langkah untuk meningkatkan ikatan antar butiran tanah sekaligus memperkecil tingkat *sensitivitas* terhadap air dengan cara membuat lapisan kedap air.

Lashari ( 2000 ) menyatakan bahwa penambahan kapur akan mempengaruhi sifat-sifat fisik tanah berfraksi kecil. Setelah terjadi reaksi dengan kapur akan terjadi penggumpalan / penggabungan fraksi pada tanah dengan fraksi kecil sehingga distribusi ukurannya akan berubah menjadi lebih besar. Dengan berubahnya ukuran butir tanah, maka akan meningkat pula daya geser tanah tersebut, yang berakibat meningkatnya stabilitas tanah.

Namun dengan berubahnya distribusi ukuran menjadi lebih besar berarti membesar pula ukuran porinya. Dengan membesarnya ukuran pori akan meningkatkan nilai *permeabilitas* tanah (  $k$  ). Meningkatnya nilai *permeabilitas* (  $k$  ) memberi gambaran mudahnya air memasuki struktur tanah tersebut. Semakin mudah air memasuki struktur semakin banyak pula jumlah air yang akan mempengaruhi struktur tanah yang sudah distabilisasi. Dengan jumlah air yang lebih banyak mempengaruhi struktur dikawatirkan akan merusak struktur tanah yang sudah distabilisasi dengan kapur tersebut. Oleh karena itu diperlukan bahan tambahan untuk menahan laju intrusi air ke dalam struktur tanah. Untuk meningkatkan sifat isolasi tanah hasil stabilisasi dengan kapur terhadap air pada penelitian ini akan dipakai aspal emulsi.

Shirley ( 1987 ) menyatakan bahwa penggunaan aspal emulsi untuk stabilisasi tanah dasar sangat bergantung kepada jenis tanahnya, penggunaan aspal emulsi sangat baik untuk jenis tanah kepasiran dan pasir lempungan ( pasir dengan kandungan lempung ), namun agak sulit pada jenis tanah lempung berat ( mengandung prosentase lempung tinggi ). Hal tersebut terjadi karena void ratio pada jenis tanah sangat mempengaruhi tingkat peresapan dan pengikatan aspal emulsi terhadap butir tanah sehingga mencapai kondisi stabil. Berdasarkan hal tersebut, dalam penelitian ini tanah ekspansif terlebih dahulu dicampur dengan kapur sehingga terjadi penggumpalan ( memperbesar butir ) sehingga ada rongga ( *void* ) untuk tempat bereaksinya aspal emulsi terhadap campuran tanah *ekspansif* – kapur.

Shirley ( 1987 ) selanjutnya menyatakan bahwa penambahan aspal emulsi berfungsi untuk meningkatkan kohesi antar material non-plastis dan untuk memberi lapisan tahan air. Dalam penelitian ini diharapkan hal tersebut terjadi, aspal emulsi diharapkan akan mengikat antar butiran yang sudah membesar akibat campuran tanah *ekspansif* – kapur dan memberi lapisan kedap air sehingga pengaruh air akan menjadi mengecil.

## 2.11. Penelitian Yang Sudah Pernah Dilakukan

Penelitian ini memakai dasar hasil beberapa penelitian yang sudah pernah dilakukan. Dari berbagai penelitian yang menyangkut perbaikan tanah, telah dilakukan stabilisasi tanah dengan material kapur, portland semen, abu terbang (*fly ash*), abu sekam, *cleanset* semen, semen merah dan kombinasi beberapa material tersebut. Dari pengamatan sampai sekarang belum ada penelitian tentang stabilisasi tanah dari Kabupaten Grobogan Jawa Tengah dengan kapur dan aspal emulsi.

Ingles dan Metcalf ( 1972 ) meneliti tentang stabilisasi kapur pada tanah lempung berlanau, dengan kapur hidrasi (  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ) pada temperatur  $25^\circ \text{C}$ , menunjukkan bahwa peningkatan prosentase kapur seiring dengan peningkatan kekuatan tekan dengan alat UCS (*Unconfined compressive strength*) sampai kurang lebih pada campuran dengan prosentase kapur 7%, selanjutnya pada campuran kapur  $> 7\%$  peningkatan UCS relatif kecil. Tinjauan pada masa perawatan kapur memperlihatkan pada prosentase kapur 5%, dengan masa rawat 3 hari sampai 84 hari tekanan UCS meningkat seiring dengan lama masa perawatan.

Idrus ( 1991 ) meneliti stabilisasi kapur pada tanah Losari Bandung. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kuat tekan meningkat dengan pertambahan prosentase kapur seiring dengan peningkatan masa tunggu perawatannya.

Supriyono ( 1993 ) meneliti stabilisasi tanah ekspansif dengan kapur mempergunakan alat Goenor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kapur 4% merupakan yang paling optimum untuk stabilisasi tanah lempung yang secara teknis dapat meningkatkan nilai CBR tanah.

Fathani ( 1998 ), meneliti stabilisasi kapur pada tanah ekspansif, Hasil penelitian menunjukkan bahwa tekanan pengembangan ( *swelling* ) semakin rendah dengan

penambahan kapur dan peningkatan masa perawatan. Penurunan tekanan pengembangan pada masa perawatan dibawah 10 hari cukup besar, dan pada masa perawatan lebih dari 10 hari penurunan pengembangan relatif kecil.

Syahirman Suriadi ( 2000 ), meneliti stabilisasi tanah lempung di Kabupaten Bantul Daerah istimewa Yogyakarta dengan memakai kapur 4% dan garam 0%, 1%, 2%, 2,5% dan 3% dengan masa perawatan 7 hari. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan kadar garam dapat meningkatkan berat jenis, batas plastis, berkecenderungan meningkatkan batas susut, serta menurunkan batas cair dan indeks plastisitas. Apabila kadar air dipertahankan penambahan kadar garam akan dapat menurunkan nilai  $q_u$  dan CBR. Sedangkan apabila kadar air sampel tidak dipertahankan penambahan kadar garam 1% mampu meningkatkan nilai  $q_u$  yang maksimum.

Lashari ( 2000 ), meneliti stabilisasi tanah lempung Kabupaten Grobogan Jawa Tengah dengan memakai kapur 0%, 2,5%, 5%, dan 7% serta bubuk bata merah dengan konsentrasi 0%, 5%, 10% dan 15% dengan masa pemeraman 0 hari, 2 hari, 7 hari dan 14 hari. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa peningkatan stabilitas tanah lempung seiring dengan peningkatan prosentase kapur dan bubuk bata merah. Hasil penelitiannya juga menunjukkan bahwa penambahan kapur dan bubuk bata merah dapat memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah serta menurunkan volume pengembangan setelah melewati masa pemeraman 2 hari.

## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1. Rancangan Penelitian

Penelitian ini memakai metode komparatif, yang berarti membandingkan hasil perlakuan terhadap obyek penelitian dengan material dasar sebagai acuan penelitian. Dalam penelitian ini akan membandingkan CBR dan kembang susut (*swelling*).

Sebelum melakukan penelitian stabilisasi tanah dengan kapur dan aspal emulsi dilakukan rancangan dari kegiatan penelitian. Garis besar kegiatan penelitian terbagi menjadi tiga pengujian laboratorium yaitu (1) pengujian kimia dan jenis mineral tanah, (2) pengujian sifat-sifat fisik tanah, dan (3) pengujian sifat-sifat mekanik. Rancangan penelitian yang berupa bagan alir diperlihatkan pada Gambar 3.1.

Pengujian kimia dan mineralogi tanah dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan dan Produk Keramik Departemen Perindustrian dan Perdagangan RI Bandung. Dari pengujian kimia diperoleh unsur-unsur kimia dan jenis-jenis mineral dominan dari tanah asli. Sedangkan pengujian unsur-unsur kimia kapur dilakukan di Balai Penyelidikan dan Pengembangan Teknologi Kegunungapian Direktorat Jendral Geologi dan Sumberdaya Mineral Yogyakarta. Pengujian mineralogi kapur tidak dilakukan karena diketahui kapur bermineral calsite.

Pengujian sifat-sifat fisik dan sifat-sifat mekanik dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro Semarang. Pengujian sifat-sifat fisik dimaksudkan sebagai data yang diperlukan untuk tahapan pengujian sifat-sifat mekanis. Pengujian meliputi kadar air, berat volume, batas-batas konsistensi (*Atterberg Limit*) dan analisa butiran. Pengujian sifat-sifat mekanis dimaksudkan untuk memperoleh data tentang nilai CBR, *swelling* dan hubungan hasil pengujian dengan hasil pengujian dari sifat-sifat fisik, sifat kimia dan kandungan mineral.

Pengujian aspal emulsi dilakukan di Laboratorium PT Utama Prima Cilacap. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kelayakan aspal emulsi sebagai bahan campuran / stabilisasi tanah.

Tahap kegiatan laboratorium mekanika tanah dapat diuraikan sebagai berikut :

- a. Sebelum pengujian CBR dilakukan, terlebih dahulu melakukan pengujian pemadatan standart ( *compaction* ) untuk tanah asli, guna mengetahui kadar air optimum (OMC) tanah asli sebagai dasar pengambilan kadar air campuran.
- b. Tahap berikutnya adalah melakukan pencampuran ( *mixing* ) tanah dengan bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi dalam setiap variasi pencampuran dengan kadar air optimum sejumlah 2 ( dua ) buah benda uji.
- c. Selama masa perendaman, diukur pengembangan arah vertikal untuk diketahui tingkat pengembangan ( *swelling* potensial ) dalam variabel waktu. Kemudian diakhiri dengan dilakukan test CBR. Untuk beberapa sampel (varian  $A_1$ ;  $A_{13}$ ;  $I_1$ ;  $I_5$ ) dilakukan uji siklus basah kering sebanyak 3 siklus dengan memakai oven sebagai pengering dengan suhu  $35^{\circ}\text{C}$

Dalam penelitian ini dibagi dalam dua variasi, yaitu variasi campuran ( *mixing* ) dan variasi pemeraman ( *curing* ). Variasi campuran meliputi campuran tanah dengan kapur dan aspal emulsi. Konsentrasi kapur yang dicampurkan ditetapkan sebesar 0%, 4 % dan 8% sedangkan konsentrasi aspal emulsi sebesar 0 % , 4 % , 6 % , 8 % didasarkan pada berat tanah kering. Variasi pemeraman dilakukan dalam 0 hari, 2 hari, 4 hari, dan 7 hari.

Bagan variasi penelitian dapat dilihat pada Tabel 3.1. berikut ini :

Tabel 3.1. Variasi Penelitian

		PROSENTASE ASPAL EMULSI			
		0 %	4 %	6 %	8 %
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	( tanpa peram ) A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	A <sub>4</sub>
	2		A <sub>5</sub>	A <sub>6</sub>	A <sub>7</sub>
	4		A <sub>8</sub>	A <sub>9</sub>	A <sub>10</sub>
	7		A <sub>11</sub>	A <sub>12</sub>	A <sub>13</sub>
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>
	2	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	C <sub>4</sub>
	4	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>
	7	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	E <sub>4</sub>
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	F <sub>1</sub>	F <sub>2</sub>	F <sub>3</sub>	F <sub>4</sub>
	2	G <sub>1</sub>	G <sub>2</sub>	G <sub>3</sub>	G <sub>4</sub>
	4	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	H <sub>3</sub>	H <sub>4</sub>
	7	I <sub>1</sub>	I <sub>2</sub>	I <sub>3</sub>	I <sub>4</sub>

Penetapan nilai campuran kapur 0%, 4 % dan 8% didasarkan pada penetapan campuran maksimum yang dilakukan Ingles dan Metchalf ( 1972 ) yang menyatakan peningkatan prosentase kapur dapat meningkatkan daya dukung yang tergambarkan dalam nilai  $q_u$  sampai kurang lebih pada campuran kapur sebesar 7%, sedangkan Supriyono (1993) dalam penelitiannya menunjukkan bahwa kapur 4% merupakan yang paling tepat untuk stabilisasi tanah lempung yang dapat meningkatkan nilai CBR tanah, Rolling dan Raymonds ( 1976 ) menyatakan kapur optimal berkisar antara 5 % - 9 %. Beberapa penelitian antara lain Lashari ( 2000 ), Syahirman Suriadi ( 2000 ) menyimpulkan prosentase optimum kapur adalah 4% untuk pengujian terhadap perilaku kembang susut. Berdasarkan beberapa penelitian tersebut, maka diambil nilai campuran kapur sebesar 0%, 4% dan 8% terhadap berat tanah kering. Sedangkan variasi campuran aspal emulsi 0 %, 4%, 6%, 8% terhadap berat tanah kering mempertimbangkan pendapat dari *Syndicate Des Fabricants D'Emulsion Routieres De Bitume* (1991), yang menyatakan bahwa penggunaan aspal emulsi untuk stabilisasi tanah berkisar antara 2 % - 7 % dengan angka optimum pada prosentase 6 %.

Idrus ( 1991) dalam penelitiannya menyatakan daya dukung yang tercermin dalam nilai  $q_u$  meningkat seiring dengan meningkatnya lama masa pemeraman. Penetapan nilai

variasi pemeraman maksimum 7 hari, karena keterbatasan waktu, meskipun demikian proses yang terjadi sampai dengan 7 hari diharapkan dapat memberi gambaran perubahan yang cukup berarti.

Bagan alir rencana penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

### 3.2. Bahan dan Alat

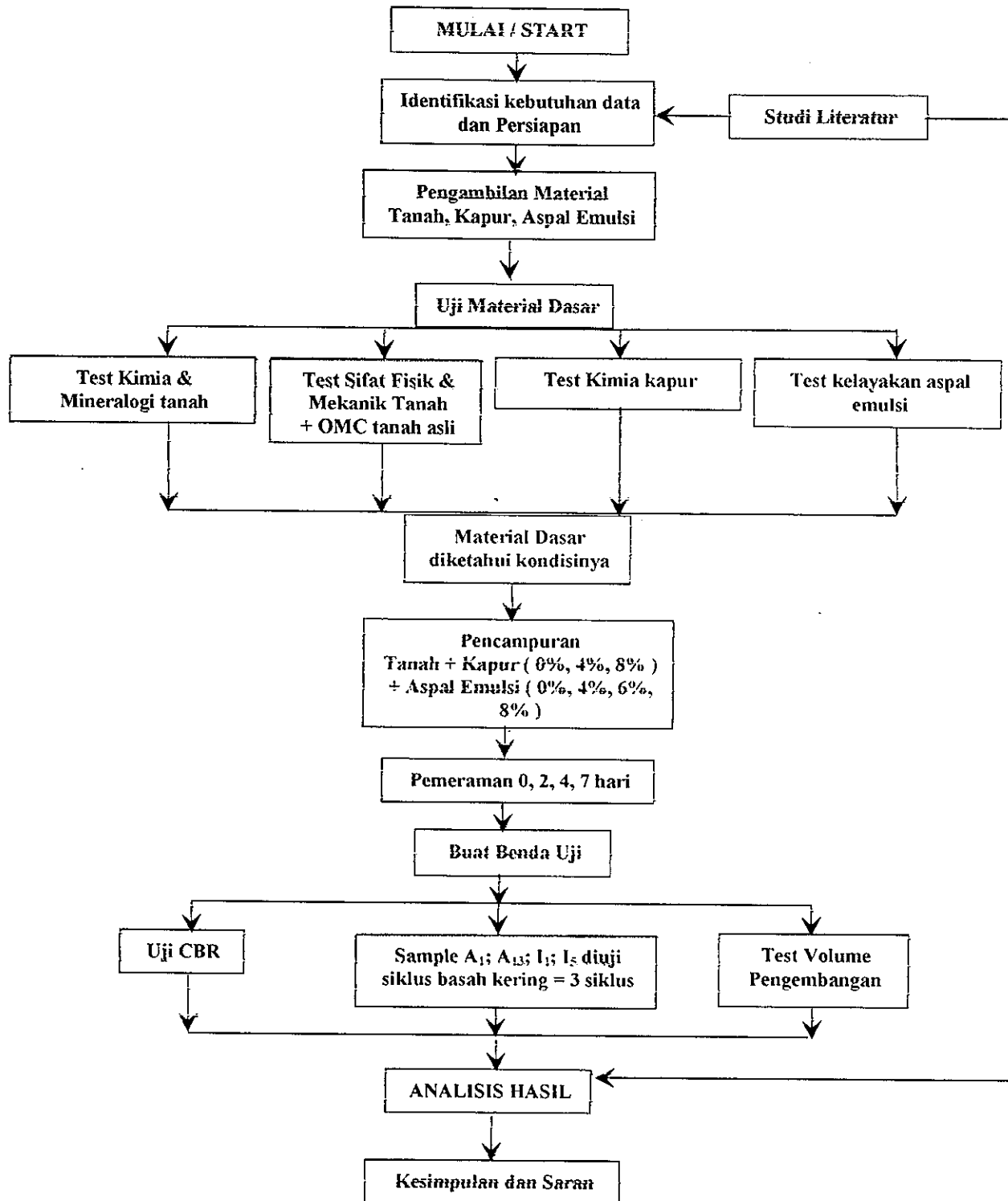
Bahan yang dipakai di dalam penelitian ini adalah :

1. Tanah ekspansif yang diambil dari tanah lempung desa Polokulon Grobogan yang lokasinya 3 km arah barat dari kota Purwodadi.
2. Kapur, diambil dari tambang kapur di desa Jatipohon Grobogan, sebelah utara sekitar 12 km dari kota Purwodadi.
3. Aspal Emulsi memakai jenis CSS-1S produksi PT Hutama Prima Cilacap.
4. Air, diambil air di Laboratorium Mekanika Tanah Universitas Diponegoro Semarang.

Alat yang digunakan terdiri dari :

1. Satu set saringan standart ASTM D421-58 dan hidrometer D422-63,
2. Satu set alat ukur berat volume ASTM D854-58,
3. Alat uji batas-batas konsistensi ( *Atterberg limit* ) ASTM D423-66, D424-59 dan D427-61, .
4. Alat pemadat standart ASTM D698-78,
5. Satu set alat uji CBR ( *California Bearing Ratio* ) ASTM D1883-87.





Gambar 3.1. Bagan alir Rancangan Penelitian

### 3.3. Prosedur Pelaksanaan

Sebelum pelaksanaan penelitian laboratorium, mempersiapkan material tanah, kapur dan aspal emulsi, untuk pengambilan tanah di lokasi dengan memperhatikan keaslian dari tanah dengan menghindari lapisan permukaan yang diperkirakan mengandung zat organik (tumbuh-tumbuhan). Kapur yang digunakan kapur padam, diambil dari Kabupaten Grobogan. Sedangkan aspal emulsi diperoleh dari produksi PT Hutama Prima Cilacap.

#### 1. Proses Pencampuran

Pengujian sifat-sifat mekanik digunakan butiran lolos ayakan no. 4, sedangkan pengujian sifat-sifat fisik lolos saringan no. 40. Kadar air campuran dalam proses pencampuran tanah dan bahan stabilisasi berdasarkan kadar air optimum hasil pengujian standar *Proctor* (tipe a) ditambah 5% terhadap berat kering tanah untuk air pemadatan bagi aspal emulsi.

#### 2. Pengujian Pemadatan

Untuk mengetahui sifat pemadatan dasar pada tanah, dilakukan pengujian menurut ASTM D689-78 atau kata lain disebut pemadatan *Proctor*. Benda uji tanah dipadatkan dalam tiga lapisan, pada setiap lapisan ditumbuk sebanyak 25 kali. Dengan keadaan yang demikian ini, energi pemadatan adalah sebesar  $592,5 \text{ kJ/m}^3$ .

Sampel tanah dan bahan pencampur dalam keadaan kering udara yang diayak dengan saringan no. 4 (lubang 4,76 mm).

#### 3. Uji CBR ( *California Bearing Ratio* )

Pengujian penentuan nilai CBR tanah berpedoman kepada standar ASTM D1883-87. Sampel tanah tersebut dipadatkan dalam tiga lapis, pada setiap lapis ditumbuk sebanyak 56 (lima puluh enam) kali. Dengan keadaan demikian energi yang dilakukan sesuai dengan energi pemadatan *Proctor*, yaitu sebesar  $592,5 \text{ kJ/m}^3$ .

#### 4. Uji Potensi Pengembangan ( *swelling potential* )

Pengujian potensi pengembangan dilakukan pada benda uji tanah dalam keadaan terendam ( *soaked* ), baik tanpa campuran maupun dengan campuran kapur atau aspal emulsi. Benda uji dapat menggunakan benda uji untuk pengujian CBR yang direndam, pada pengujian ini memakai benda uji untuk pengujian CBR.

Benda uji yang telah diketahui kadar airnya sebelum pengujian potensi pengembangan, dilakukan penimbangan. Alat perlengkapan setelah meletakkan kertas filter pada bagian atas dan bawah permukaan benda uji, pemasangan alat kelengkapan tersusun mulai dari bawah terdiri dari : alas mold, piring pemisah, benda uji di dalam mold, alat penghantar *swelling*, ring beban sebesar 10 lb, dan tripod dengan arloji pengukur deformasi. Pengujian dilakukan dengan perendaman benda uji beserta alat perlengkapannya. Perubahan deformasi dilakukan pengukuran pada arloji dengan lama waktu dalam jam 0, 2, 4, 8, 12, 36, 48, 72, dan 96. Setelah pengujian benda uji, dilakukan penimbangan dan pengambilan kadar air.

Dari kedua benda uji masing-masing varian diambil rata-ratanya dan menjadi nilai hasil penelitian pada semua tabel dan grafik yang ditampilkan.

## BAB IV

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 4.1. Hasil Penelitian

Sampel tanah yang dipakai adalah tanah di sekitar jalan pada kilometer 56 dari Semarang menuju Purwodadi, Grobogan Jawa Tengah. Bahan stabilisasi kapur diambil dari daerah yang sama dan aspal emulsi merupakan produksi dari PT Hutama Prima Cilacap.

Hasil Penelitian secara detail terdapat pada lampiran dan secara garis besar adalah sebagai berikut :

##### 4.1.1. Tanah

Hasil pengamatan visual menunjukkan bahwa tanah tersebut berwarna coklat muda, dijumpai sisa-sisa organis. Sedangkan hasil penelitian laboratorium mengenai karakteristik tanah meliputi batas-batas Atterberg, klasifikasi butiran, kerapatan maksimum, kadar air optimum, berat jenis, CBR dan nilai kembang-susut (*swelling*) seperti pada Tabel 4.1. hasil selengkapnya bisa dilihat pada Lampiran B-1 dan B-3

Tabel 4.1. Karakteristik Tanah Asli

PEMERIKSAAN	NILAI
Batas cair	86.90 %
Batas plastis	29.23 %
Batas susut	9.02 %
Indeks plastisitas ( PI )	57.680 %
Pasir	5.40 %
Lanau / Lempung ( lolos saringan # 200 )	94.60 %
Lempung ( fraksi < 0,002 mm )	20.83 %
Kerapatan Kering maksimum ( MDD )	1.39 gr / cm <sup>3</sup>
Kadar air optimum ( OMC )	30.1 %
Berat jenis	2.611
CBR <i>unsoaked</i>	9.61 %
CBR <i>soaked</i>	2.745 %
<i>Swelling potential</i>	4.86 %

Dari Tabel 4.1. diatas terlihat bahwa tanah asli memiliki karakteristik tanah ekspansif, terbukti dengan angka indek plastisitas yang lebih besar dari 35%, jumlah fraksi lempung (  $< 0,002 \text{ mm}$  ) sejumlah 20,83% serta batas susut sebesar 9,02%.

Kandungan mineralogi tanah yang dihasilkan dari pengujian difraksi sinar X secara lengkap seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2. hasil selengkapnya pada Lampiran B-1

Tabel 4.2. Kandungan Mineralogi Tanah

Komposisi mineral	Kadar (%)
Montmorillonite	13.25
Halloysite	39.93
Calcite	11.42
Alpha Quartz	27.68
Feldspar	7.68

Dari hasil pengujian terhadap kandungan mineralogi pada Tabel 4.2. didapat unsur paling besar adalah halloysite, kemudian berturut-turut alpha quartz dan montmorillonite.

Hasil pengujian dua belas komposisi kimia tanah yang mempunyai berat dominan adalah seperti terlihat pada Lampiran B-1 atau Tabel 4.3. sebagai berikut :

Tabel 4.3. Komposisi Kimia Tanah

Komponen	Kadar (%)
SiO <sub>2</sub>	47.41
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.89
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	6.30
CaO	6.27
MgO	1.90
Na <sub>2</sub> O	0.72
K <sub>2</sub> O	1.02
MnO	0.11
TiO <sub>2</sub>	0.72
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.35
H <sub>2</sub> O	4.77
HP	14.30

Kandungan komposisi kimia paling besar berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3. adalah SiO<sub>2</sub>, kemudian berturut-turut Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> dan bahan tambahan lainnya ( HP ).

#### 4.1.2. Bahan Stabilisasi

Hasil pengujian bahan stabilisasi kapur didapat koponen kimia terbesar adalah CaO seperti ditunjukkan pada Lampiran B-4 atau Tabel 4.4. sebagai berikut :

Tabel 4.4. Komposisi Kimia Kapur

Komponen	Kadar (%)
SiO <sub>2</sub>	8.53
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.84
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.51
CaO	55.15
MgO	0.57
Na <sub>2</sub> O	0.52
MnO	0.02
K <sub>2</sub> O	0.18
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.10
H <sub>2</sub> O	0.01
HD	32.37

Untuk pengujian berat jenis (Gs) terhadap bahan stabilisasi kapur didapat hasil berat jenis (Gs) kapur sebesar 2,358.

Hasil pengujian terhadap bahan stabilisasi aspal emulsi seperti ditunjukkan pada Lampiran B-2 atau ringkasannya pada Tabel 4.5. sebagai berikut :

Tabel 4.5. Hasil Pengujian Aspal Emulsi

PROPERTY	UNIT	METHODE	RESULT	STANDARD	
				Min	Max
Residue From Dist	%	ASTM D-244	58.02	57	
Water Content	%	ASTM D-244	33.07		
Oil Filter Dist	%		8.28		12
Sieve Test	%	ASTM D-244	0.003		0.1
Viscosity 25 Deg C	Second	ASTM D-244	45	20	100
Sett 5 Day	%	ASTM D-244	3.06		5
PH Emulsion	%	ASTM D-244	2.5		6.7
Coating ability	%	ASTM D-244	80	75	
Penetrasi Residue	0,1 mm	ASTM D-5	170	100	250
Sol in TCE	%	ASTM D-2042	99 +	97.5	
Electralite Test	-	ASTM D-244	Positive	Positive	
Density	g/ml	ASTM D-70	1.012	1	
Ductility	Cm	ASTM D-113	>140	40	
Storage Stability 24 H	%	ASTM D-244	0.42		1

Dari Tabel 4.5. di atas didapat bahwa aspal emulsi layak dipakai sebagai bahan stabilisasi.

#### 4.1.3. Campuran tanah dengan bahan stabilisasi

Beberapa pengujian dilakukan terhadap campuran tanah dan bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman. Pengujian tersebut meliputi pengujian sifat mekanik yang berupa pengujian *CBR* (*California Bearing Ratio*) dan *Swelling Potential*, serta pengujian sifat fisik dari beberapa sample yang meliputi pengujian berat jenis (*G<sub>s</sub>*), pengujian batas-batas Atterberg, indeks plastisitas dan klasifikasi tanah.

Hasil dari berbagai pengujian tersebut diuraikan sebagai berikut :

##### 4.1.3.a. Pengujian sifat fisik tanah

Pengujian dari sifat fisik tanah, meliputi pengujian *specific gravity* (*G<sub>s</sub>*) dan batas-batas Atterberg dengan hasil seperti ditunjukkan pada lampiran Lampiran C-1 sampai C-34 atau ringkasannya dalam Tabel 4.6. sampai Tabel 4.10. sebagai berikut :

Tabel 4.6. *Specific Gravity* dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI			
		0 %	4 %	6 %	8 %
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	2.611	2.548	2.532	2.536
	2		2.531	2.524	2.522
	4		2.528	2.524	2.519
	7		2.525	2.521	2.517
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	2.533	-	-	2.52
	2	2.518	-	-	2.519
	4	2.515	-	-	2.517
	7	2.511	2.514	2.514	2.515
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	2.519	-	-	2.518
	2	2.515	-	-	2.516
	4	2.512	-	-	2.514
	7	2.507	2.512	2.513	2.513

Tabel 4.7. Batas Cair (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI			
		0 %	4 %	6 %	8 %
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	86.9	82.49	81.53	81.53
	2		79.79	79.23	78.95
	4		76.01	74.74	73.74
	7		74.16	73.29	71.74
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	67.52	-	-	66.27
	2	61.91	-	-	62.93
	4	59.87	-	-	60.07
	7	53.43	59.46	63.97	57.99
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	52.64	-	-	57.85
	2	53.55	-	-	56.99
	4	53.06	-	-	56.19
	7	51.29	52.68	58.42	56.04

Tabel 4.8. Batas Plastis (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI			
		0 %	4 %	6 %	8 %
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	29.23	29.75	30.74	30.27
	2		37.6	38	40.67
	4		40.62	43.47	46.38
	7		46.62	50.21	50.30
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	35.42	-	-	38.93
	2	37.21	-	-	36.57
	4	41.81	-	-	40.12
	7	42.69	39.92	38.37	40.48
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	32.83	-	-	37.77
	2	42.45	-	-	41.85
	4	43.15	-	-	42.31
	7	42.69	39.92	38.37	40.48

Tabel 4.9. Batas Susut (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI			
		0 %	4 %	6 %	8 %
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	9.02	9.21	10.24	10.68
	2		13.78	14.76	14.91
	4		16.60	17.21	17.56
	7		20.24	21.10	21.88
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	16.96	-	-	16.70
	2	17.78	-	-	17.11
	4	19.52	-	-	18.11
	7	20.86	20.04	19.61	18.83
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	17.59	-	-	17.36
	2	18.29	-	-	18.11
	4	20.35	-	-	19.72
	7	21.10	20.89	20.29	20.10



Tabel 4.10. Indeks Plastisitas (%) dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI			
		0 %	4 %	6 %	8 %
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	57.68	52.74	50.80	51.26
	2		42.19	41.23	38.29
	4		35.35	31.30	27.36
	7		27.53	23.08	20.45
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	32.10	-	-	27.35
	2	24.71	-	-	26.36
	4	18.08	-	-	19.95
	7	10.78	19.54	25.6	17.51
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	19.82	-	-	20.08
	2	11.1	-	-	15.14
	4	9.92	-	-	13.89
	7	7.25	17.39	24.25	12.71

Dari Tabel 4.7. sampai Tabel 4.9. di atas dapat dilihat bahwa terdapat kecenderungan menurunnya batas cair dengan semakin meningkatnya prosentase aspal emulsi dan kapur maupun masa pemeramannya. Sedangkan batas plastis meningkat seiring meningkatnya prosentase kapur dan aspal emulsi maupun masa pemeraman. Dari Tabel 4.7. sampai Tabel 4.9. tersebut juga di dapat bahwa batas susut meningkat seiring meningkatnya prosentase kapur dan aspal emulsi maupun masa pemeraman. Pada Tabel 4.10 terlihat menurunnya indek plastisitas seiring dengan meningkatnya prosentase kapur, aspal emulsi maupun masa pemeraman.

Hasil analisis distribusi ukuran butiran terdapat pada Lampiran D-1 sampai D-33 yang diringkas pada Tabel 4.11 sampai Tabel 4.12. Pada Tabel 4.11. terlihat hasil klasifikasi berdasarkan butiran tanah asli maupun yang sudah distabilisasi dalam berbagai variasi bahan stabilisasi dan masa pemeraman. Sedangkan pada Tabel 4.12. terlihat hasil pengujian untuk menunjukkan besarnya prosentase fraksi lempung dalam tanah dan nilai aktivitasnya berdasarkan rumus Skempton (1953).

Tabel 4.11. Hasil pengujian klasifikasi dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI											
		0 %			4 %			6 %			8 %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	0	5.4	94.6	0	6.4	93.6	0	6.8	93.2	0	6.6	93.4
	2				0	6.8	93.2	0	7.0	93.0	0	7.6	92.4
	4				0	7.0	93.0	0	11.2	88.8	0	12.0	87.8
	7				0	13.8	86.2	0	15.2	84.8	0	20.8	79.2
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	0	9.4	90.6	-	-	-	-	-	-	0	9.6	90.4
	2	0	15.2	84.8	-	-	-	-	-	-	0	12.4	87.6
	4	0	22.4	77.6	-	-	-	-	-	-	0	16.6	83.4
	7	0	24.4	75.6	0	23.08	76.2	0	22.8	77.2	0	22.4	77.6
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	0	13.0	87.0	-	-	-	-	-	-	0	13.8	86.2
	2	0	22.8	77.2	-	-	-	-	-	-	0	20.2	79.8
	4	0	23.6	76.4	-	-	-	-	-	-	0	22.4	77.6
	7	0	24.4	75.6	0	25.4	74.6	0	24.8	75.2	0	24.4	75.6

Keterangan :

A = Kerikil (%); B = Pasir (%); C = Lanau / lempung (%)

Tabel 4.12 Hasil pengujian klasifikasi dan aktivitas dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI											
		0 %			4 %			6 %			8 %		
		A	B	C	A	B	C	A	B	C	A	B	C
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	94.6	20.83	2.769	93.6	19.28	2.735	93.2	19.3	2.632	93.4	19.29	2.657
	2				93.2	18.55	2.274	93.0	18.55	2.221	92.4	18.56	2.063
	4				93.0	19.3	1.832	88.8	19.31	1.621	87.8	16.39	1.649
	7				86.2	16.6	1.658	84.8	15.76	1.464	79.2	15.06	1.358
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	90.6	16.46	1.950	-	-	-	-	-	-	90.4	17.21	1.589
	2	84.8	15.11	1.635	-	-	-	-	-	-	87.6	16.59	1.589
	4	77.6	13.73	1.317	-	-	-	-	-	-	83.4	15.11	1.320
	7	75.6	12.33	0.874	76.2	13.07	1.495	77.2	13.73	1.865	77.6	14.46	1.211
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	87.0	16.59	1.195	-	-	-	-	-	-	86.2	16.15	1.243
	2	77.2	12.34	0.900	-	-	-	-	-	-	79.8	13.73	1.103
	4	76.4	11.61	0.854	-	-	-	-	-	-	77.6	11.61	1.196
	7	74.7	10.19	0.711	74.6	10.91	1.594	75.2	10.91	2.223	75.6	11.61	1.095

Keterangan :

A = Lolos saringan # 200 (%); B = Fraksi &lt; 0,002 (%); C = Aktivitas (A)

Dari Tabel 4.12. diatas ditemukan bahwa semakin meningkatnya prosentase kapur dan aspal emulsi maupun masa pemeraman, jumlah fraksi lempung menurun, jumlah fraksi seukuran pasir meningkat sedangkan aktivitas tanah mengalami penurunan.

#### 4.1.3.b. Pengujian sifat mekanik tanah dengan bahan stabilisasi

Pengujian dari sifat mekanik tanah, meliputi pengujian CBR ( *California Bearing Ratio* ), dan *swelling* dengan hasil seperti ditunjukkan pada Lampiran E-1 sampai E-116 dan Lampiran F-1 sampai F-110 atau dalam Tabel 4.13. dan Tabel 4.14 sebagai berikut :

Tabel 4.13 Hasil pengujian CBR dan Swelling dalam beberapa konsentrasi bahan stabilisasi dan waktu pemeraman

		PROSENTASE ASPAL EMULSI							
		0 %		4 %		6 %		8 %	
		CBR	Swell	CBR	Swell	CBR	Swell	CBR	Swell
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	2.745	4.860	0.145	2.560	0.28	2.215	1.315	1.825
	2			5.36	2.200	5.565	1.950	5.645	1.935
	4			6.28	2.120	6.36	1.710	6.45	1.470
	7			7.02	1.755	8.1	1.660	8.07	1.335
Tanah Asli + 4% kapur + hari peram	0	22.26	0.36	12.855	0.365	10.47	0.395	8.565	0.44
	2	23.56	0.03	11.885	0.03	8.295	0.045	8.04	0.065
	4	27.735	0.02	14.34	0.075	12.72	0.105	11.695	0.135
	7	29.07	0.005	16.065	0.015	15.695	0.02	14.655	0.04
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	30.905	0.435	20.055	0.51	17.73	0.81	15.12	1.15
	2	31.27	0	19.63	0.01	16.3	0.01	15.835	0.015
	4	31.425	0	19.78	0.015	16.945	0.02	16.115	0.035
	7	31.74	0	20.015	0.015	17.495	0.02	16.47	0.03

Keterangan : Nilai CBR dan Swelling dalam (%)

Pengujian dari sifat mekanik tanah berupa pengujian CBR ( *California Bearing Ratio* ), dan *swelling* juga dilakukan terhadap beberapa sampel yang diberi perlakuan siklus basah-kering, hasilnya seperti ditunjukkan dalam Tabel 4.14. sebagai berikut :

Tabel 4.14 Hasil pengujian CBR dan Swelling terhadap sampel dengan perlakuan siklus basah-kering

		PROSENTASE ASPAL EMULSI															
		0 %								8 %							
		CBR (%)				Swelling (%)				CBR (%)				Swelling (%)			
Siklus ke-		0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Tanah Asli + 0% kapur + hari peram	0	2.7	2.0	0.9	1.0	4.9	3.7	2.5	1.8	-	-	-	-	-	-	-	-
	2									-	-	-	-	-	-	-	-
	4									-	-	-	-	-	-	-	-
	7									8.2	8.4	8.5	9.6	1.3	0.5	0.0	0.0
Tanah Asli + 8% kapur + hari peram	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	31.7	31.7	31.8	-	0	0	0	-	16.5	16.7	16.8	-	0.0	0	0	-

Keterangan : Nilai CBR dan Swelling dalam (%)

## 4.2. Pembahasan

### a. Material dasar

Penelitian ini mengambil kasus jalan Semarang – Purwodadi dengan pengambilan lokasi sampel pada km 56. Kondisi jalan lokasi penelitian mengalami rusak yang parah, kerusakan yang menonjol berupa terbentuknya gelombang di permukaan jalan disertai penurunan secara parsial pada beberapa bagian ruas jalan. Upaya perbaikan yang dilakukan selama ini dengan memperbaiki lapisan permukaan jalan belum dapat mengatasi permasalahan, dalam kurun waktu relatif tidak terlalu lama setelah dilakukan perbaikan, kerusakan muncul kembali. Hal ini memberikan petunjuk bahwa sumber utama kerusakan yang terjadi bukan dari struktur atas badan jalan melainkan lapisan tanah yang terletak di bawah struktur jalan.

Penelitian ini melalui pengujian yang dilakukan terhadap tanah setempat seperti tercantum dalam Tabel 4.1. sampai Tabel 4.3. menggambarkan kondisi asli tanah setempat. Kondisi yang tergambarkan melalui Tabel 4.1. sampai Tabel 4.3. meliputi karakteristik tanah, komposisi mineral dan komposisi kimia yang terkandung di dalamnya. Ditinjau dari klasifikasi butiran didapatkan 94,6% lolos saringan no. 200 dengan indeks plastisitas sebesar 57,68% dan batas cair sebesar 86,9%. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanah setempat memiliki angka indeks plastisitas yang melebihi 35% dengan batas cair diatas 50%. Menurut AASHTO maupun ASTM dan dari hubungan antara indeks plastisitas dengan batas cair dari *British Standard*, tanah setempat termasuk jenis tanah lempung berplastisitas tinggi. Angka indeks plastisitas sebesar 57,68% menurut Chen ( 1975 ) menunjukkan potensi pengembangan yang sangat tinggi menjelaskan terjadinya gelombang dan penurunan parsial pada permukaan jalan. Hasil pengujian difraksi sinar x, tanah setempat memiliki kandungan mineral halloysite, montmorillonite, quartz, feldspar

dan calcite. Menurut Mitchell ( 1976 ) hasil pengujian kandungan mineral ini bila dihubungkan dengan hasil pengujian batas-batas Atterberg yang meliputi batas cair 86,9% , batas plastis 29,23% , dan batas susut 9,02% mengindikasikan kemungkinan mineral yang berpengaruh adalah montmorillonite. Petunjuk lain mengenai pengaruh montmorillonite tersebut adalah nilai aktivitas sebesar 2,769. Menurut Skempton ( 1953 ) pengaruh mineral montmorillonite ditunjukkan dengan nilai aktivitas tanah yang berkisar antara 1 – 7, jadi nilai aktivitas tanah setempat yang menunjukkan nilai 2,769 mempertegas pengaruh kandungan mineral montmorillonite. Penelitian kandungan kimia menunjukkan kandungan kimia yang menonjol pada tanah setempat adalah silika ( $\text{SiO}_2$ ) sebesar 52,29%. Hasil penelitian volume pengembangan sebesar 4,860 % termasuk perubahan volume yang berpengaruh dan merupakan salah satu penyebab labilnya permukaan jalan. Kekuatan tanah setempat juga termasuk rendah dengan nilai CBR sebesar 2,745 %.

Analisis sifat-sifat tanah setempat yang kurang menguntungkan terutama yang disebabkan oleh perubahan kadar air tanah dan kekuatannya. Melalui penelitian ini dicoba mencari alternatif perbaikan tanah setempat dengan penambahan bahan stabilisasi yang berupa kapur dan aspal emulsi. Hasil penelitian pencampuran tanah setempat dengan bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi akan diuraikan lebih lanjut.

Penelitian bahan stabilisasi menunjukkan bahwa komposisi kimia yang dominan di dalam kapur adalah kalsia (  $\text{CaO}$  ) sebesar 55,15%. Sedangkan penelitian bahan stabilisasi aspal emulsi menunjukkan bahwa bahan ini layak untuk dipakai karena sesuai dengan standar baku yang ditetapkan.

b. Berat jenis (*specific gravity*)

Hasil pengujian berat jenis tanah dicampur dengan aspal emulsi dalam berbagai variasi konsentrasi dan masa pemeraman tanpa menggunakan kapur, menunjukkan bahwa dengan menambah konsentrasi aspal emulsi dan memperpanjang masa pemeraman akan menurunkan berat jenis tanah campuran. Penurunan tersebut terlihat cukup menonjol pada penambahan sampai 4% aspal emulsi dan pemeraman lebih dari dua hari. Sedangkan penambahan aspal emulsi diatas 4% penurunan cenderung mengecil demikian pula pemeraman diatas dua hari pengurangan berat jenis cenderung mengecil, kecenderungan ini terlihat pada Gambar 4.1.

Hasil pengujian berat jenis tanah dicampur dengan kapur dalam beberapa variasi konsentrasi dan masa pemeraman tanpa menggunakan aspal emulsi, menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi kapur dan memperpanjang masa pemeraman akan menurunkan berat jenis tanah campuran, kecenderungan ini terlihat pada Gambar 4.2.

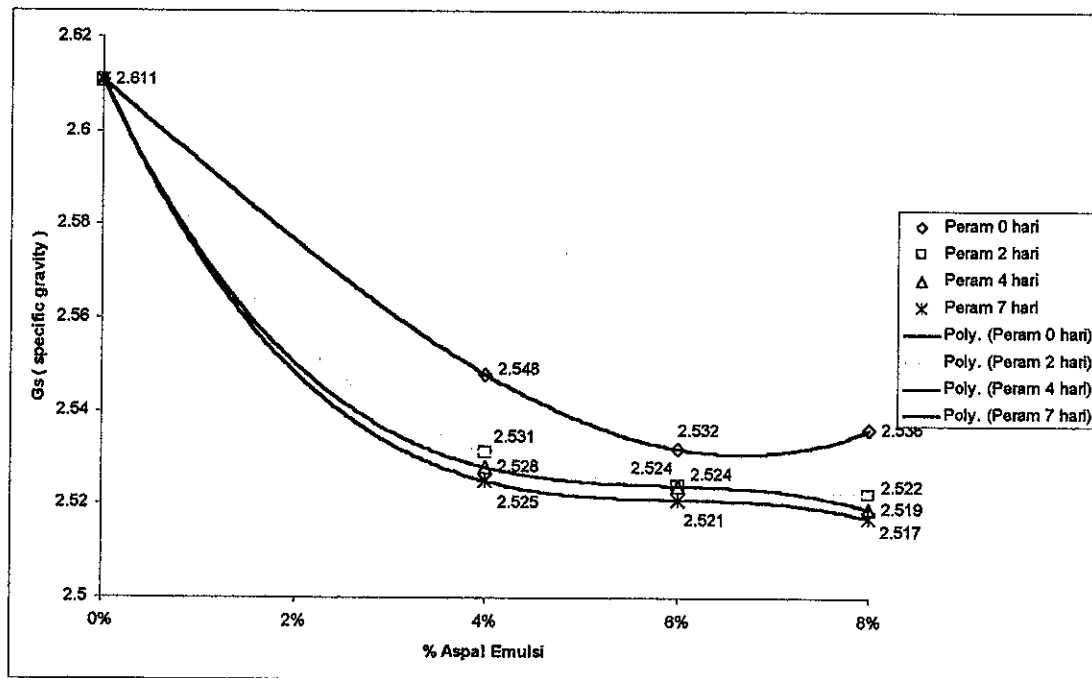
Hasil pengujian berat jenis tanah dicampur dengan kapur dan aspal emulsi dalam berbagai variasi konsentrasi dan masa pemeraman, menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi aspal emulsi memperbesar berat jenis tanah campuran, seperti terlihat pada Gambar 4.3. Sedangkan Gambar 4.2. menunjukkan bahwa penambahan masa pemeraman suatu sample dengan suatu konsentrasi penambahan aspal emulsi dan kapur akan memperkecil berat jenis tanah campuran.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pada awal tahap pencampuran tanah dan kapur, proses kimia kimia yang memerlukan air akan menyerap air serapan yang menyelimuti mineral lempung, terutama silika dengan kalsium dengan substitusi antar ion-ion dalam mineral lempung terutama penyerapan ion  $\text{Ca}^{+}$  yang memiliki kuantitas dominan dari kapur ( White dalam Lashari, 2000 ). Pada tahap berikutnya, berkurangnya air serapan

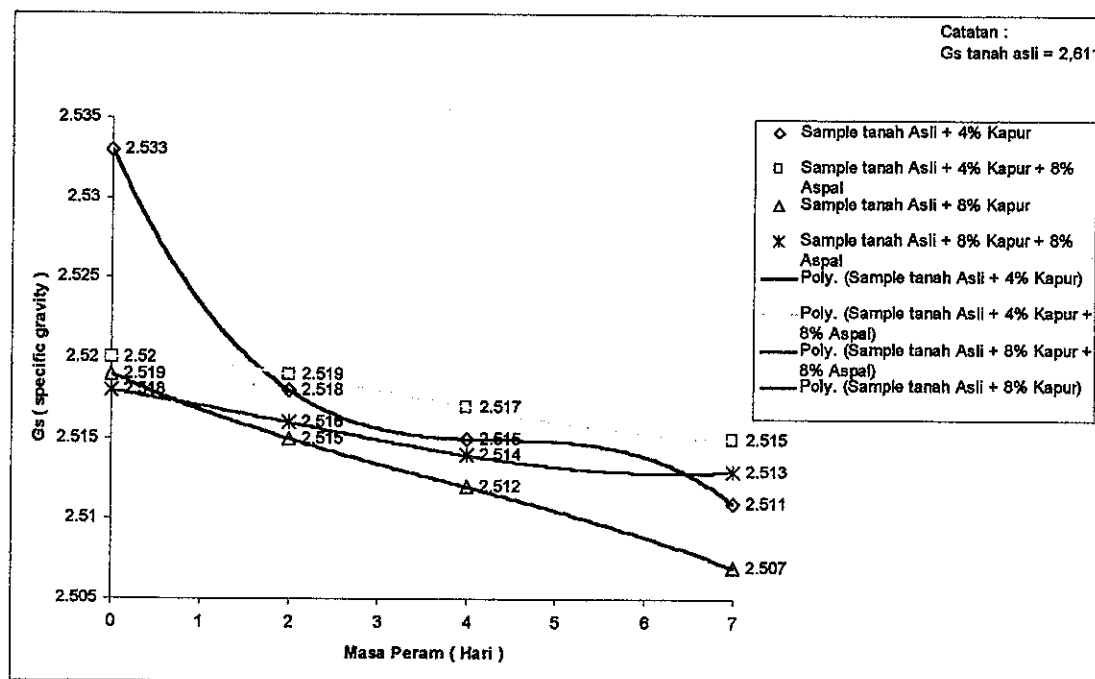
dapat mengubah posisi mineral kemungkinan merapatkan antar partikel. Kezdi ( 1979 ) melaporkan bahwa pencampuran antara tanah dengan kapur akan menghasilkan penggumpalan yang merekatkan antar partikel, rongga-rongga pori yang telah ada sebagian akan dikelilingi bahan sementasi yang lebih keras dan lebih sulit ditembus air. Rongga pori yang terisolasi oleh lapisan sedimentasi kedap air akan terukur sebagai volume butiran sehingga memperbesar volume butiran dan selanjutnya menurunkan berat jenis tanah. Penambahan konsentrasi kapur sampai batas tertentu akan memperbanyak terjadinya rongga-rongga pori yang terperangkap di dalam lapisan sedimentasi dan akan menurunkan berat jenis tanah campuran.

Kondisi yang sama terjadi pada campuran tanah dengan aspal emulsi tanpa kapur, efek *electrical double layer* yang dimiliki oleh aspal emulsi akan menarik ion ( - ) dari tanah dan dipadukan dengan ion ( + ) dari aspal emulsi. Proses ini akan memberikan lapisan sedimentasi kedap air yang sama seperti pencampuran tanah dengan kapur.

Namun kedua kondisi yang baik tersebut menjadi rusak apabila dua bahan stabilisasi ini dicampurkan. Krebs dan Walker ( 1971 ) menuliskan bahwa aspal emulsi jenis kation akan memberi efek yang sama dengan jenis anion kecuali dalam beberapa bagian. Pengecualian yang utama adalah apabila dicampurkan dengan ion  $\text{Ca}^{+}$ , aspal emulsi jenis anionik akan menarik ion ini sehingga terjadi lapisan kedap air dan terjadi proses sementasi. Namun untuk aspal emulsi jenis kation tidak akan terjadi tarik menarik namun tolak menolak karena elektron yang sejenis. Hal ini menjelaskan mengapa dalam penelitian ini pengujian pada sampel dengan berbagai varian aspal emulsi dengan konsentrasi kapur tertentu dalam masa peram tertentu menunjukkan semakin besarnya konsentrasi aspal emulsi berat jenis tanah campuran menjadi semakin membesar bila dibandingkan dengan sampel campuran tanah dan kapur saja.

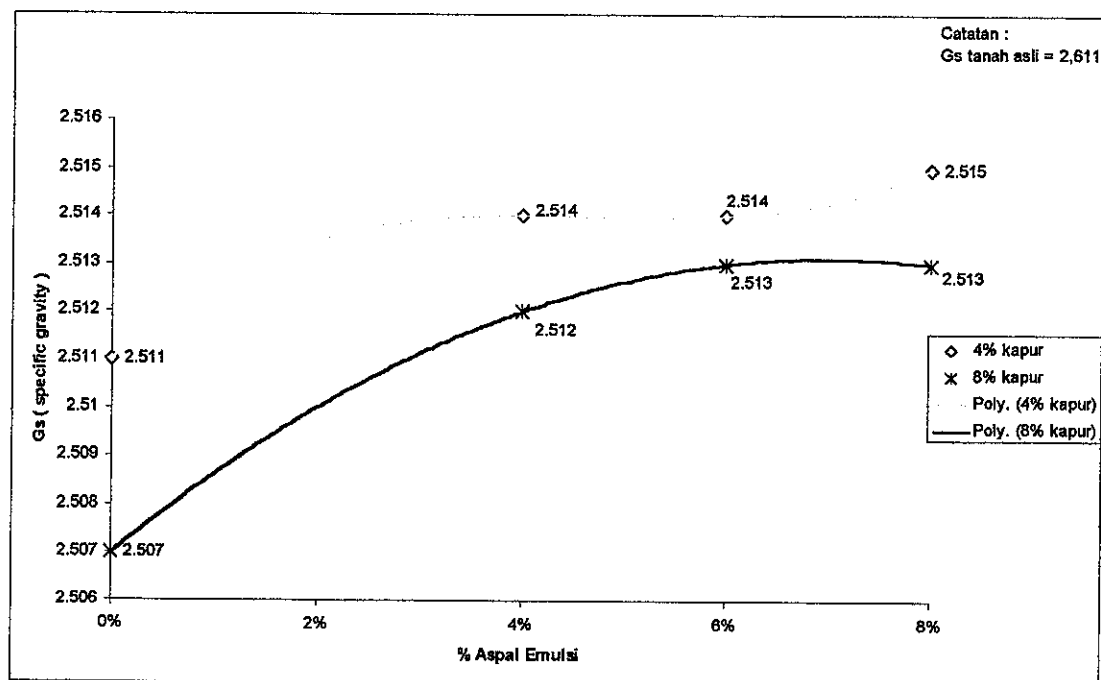


Gambar 4.1. Hubungan berat jenis ( $G_s$ ) dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa pemeraman



Gambar 4.2. Hubungan berat jenis ( $G_s$ ) dengan masa pemeraman dalam variasi bahan stabilisasi





Gambar 4.3. Hubungan berat jenis (Gs) dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi konsentrasi kapur dalam masa peram 7 hari

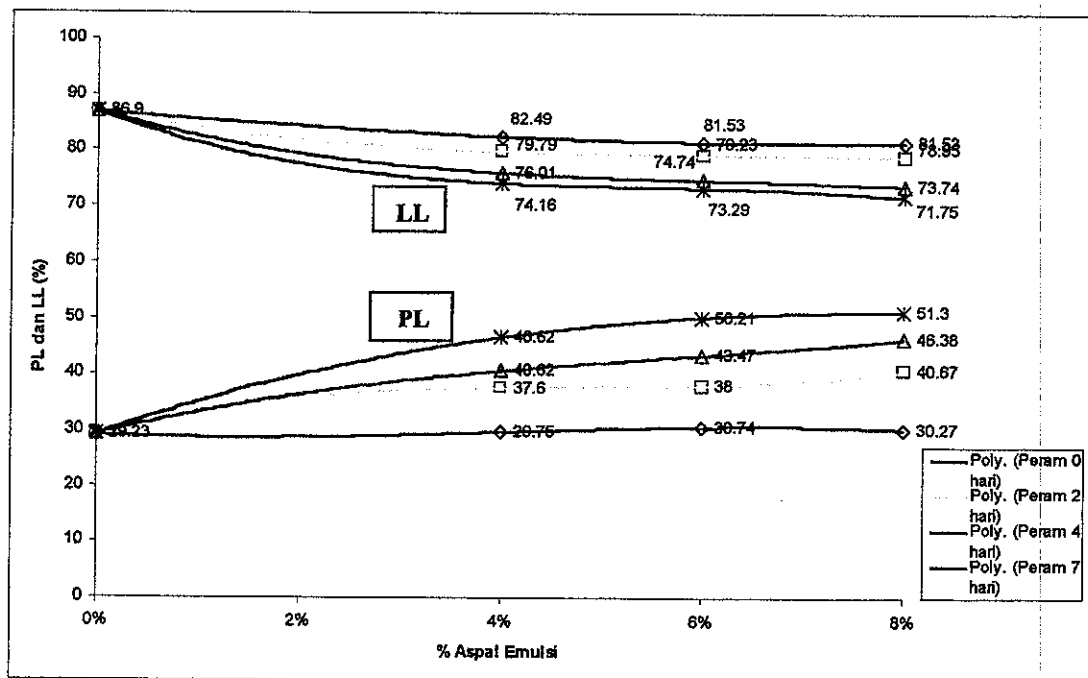
#### c. Batas-batas Atterberg

Hasil pengujian batas cair menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi aspal emulsi dan memperpanjang pemeraman menyebabkan nilai batas cair mengalami penurunan, sedangkan nilai batas plastis mengalami kenaikan, hal tersebut bisa dilihat pada Gambar 4.4. Sedangkan nilai batas susut meningkat ditunjukkan dengan Gambar 4.5. yang mengindikasikan terjadinya proses sementasi sedang terjadi yang mengakibatkan kembang susut akibat perubahan kadar air menurun. Hasil pengujian tersebut juga menunjukkan bahwa nilai indeks plasitisitas turun seiring dengan penambahan konsentrasi aspal emulsi dan lamanya masa pemeraman seperti nampak pada Gambar 4.6.

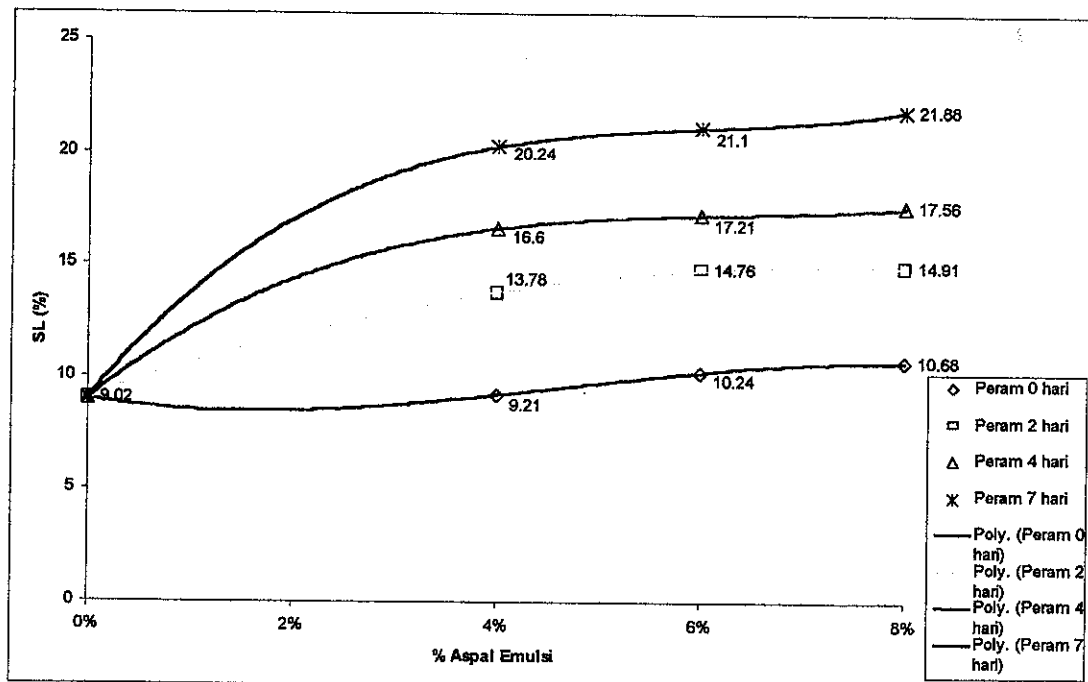
Pengujian batas-batas Atterberg terhadap campuran tanah dengan kapur menunjukkan hasil yang sama dengan hasil dari campuran tanah dengan aspal emulsi,

bahkan perubahan yang terjadi sangat mencolok. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan Gambar 4.7. sampai Gambar 4.11. Kalau dibandingkan antara campuran tanah-kapur dengan campuran tanah-aspal emulsi kita akan melihat bahwa penurunan batas cair, peningkatan nilai batas plastis, kenaikan nilai batas susut dan penurunan indeks plastisitas pada campuran tanah-kapur lebih tinggi dari pada campuran tanah-aspal emulsi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penyerapan air oleh tanah pada campuran tanah-aspal emulsi masih lebih tinggi dari pada campuran tanah-kapur.

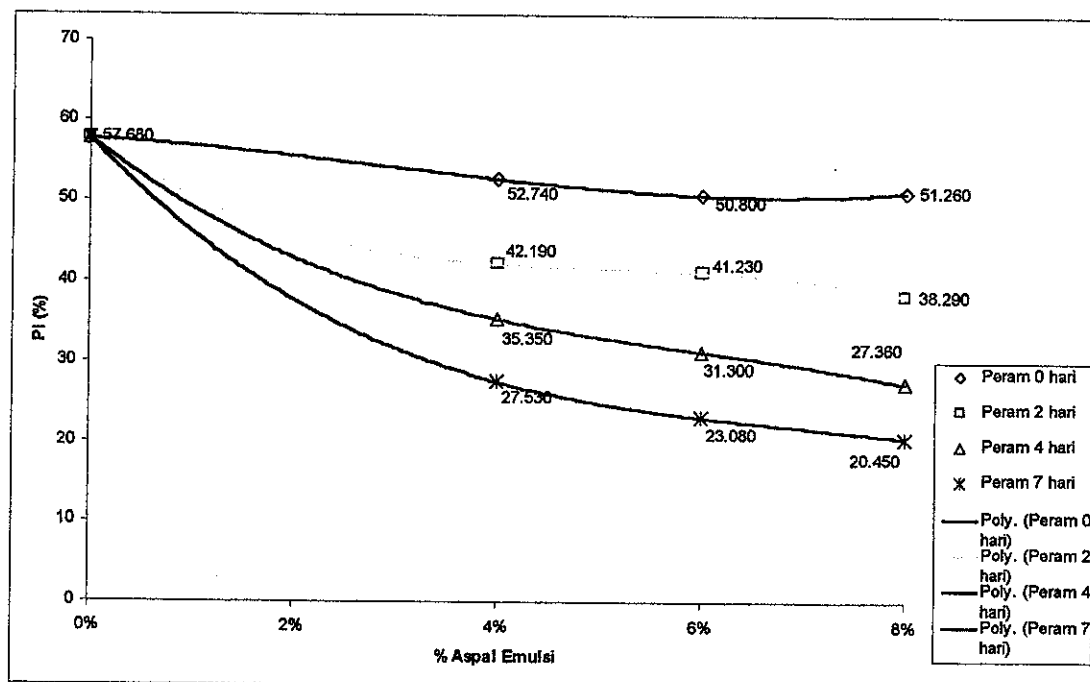
Chen ( 1975 ) mengungkapkan penurunan batas cair dan meningkatnya batas plastis diakibatkan karena ion  $\text{Ca}^+$  yang kuat dari kapur bertukar tempat dengan ion positif sodium yang lemah pada permukaan partikel. Perubahan ini membuat keseimbangan ion partikel menjadi lebih baik sehingga menurunkan tingkat penyerapan air. Penambahan ion  $\text{Ca}^+$  tersebut juga meningkatkan kepadatan ion yang membuat kapasitas partikel untuk berubah menjadi kecil.



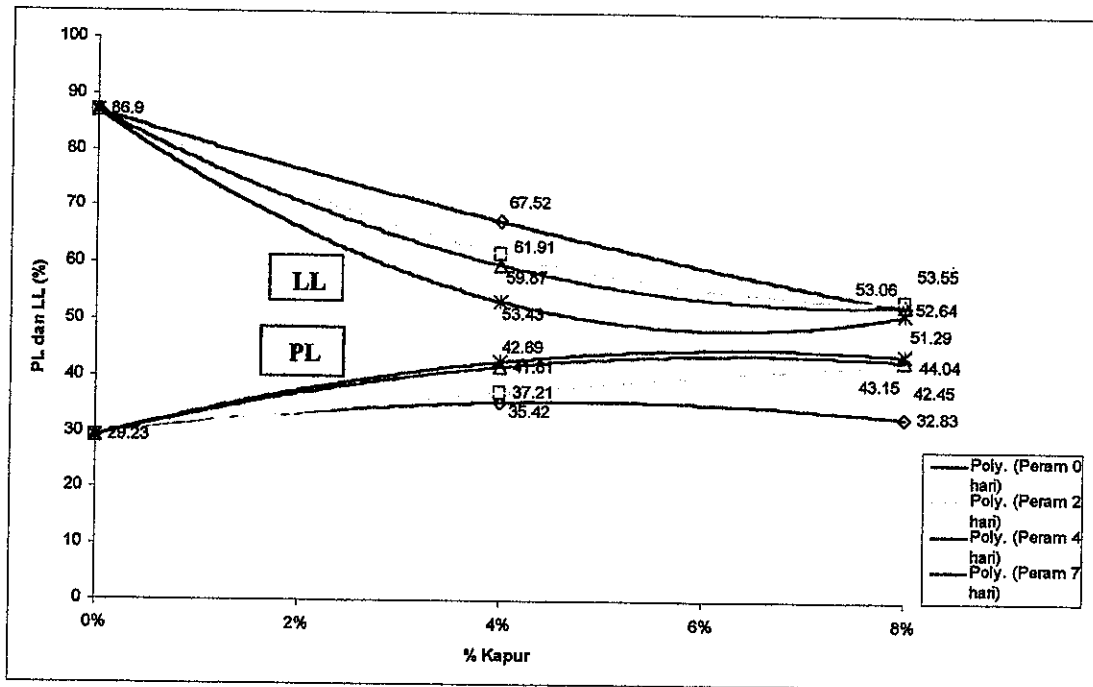
Gambar 4.4. Hubungan batas cair dan batas plastis dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa peram



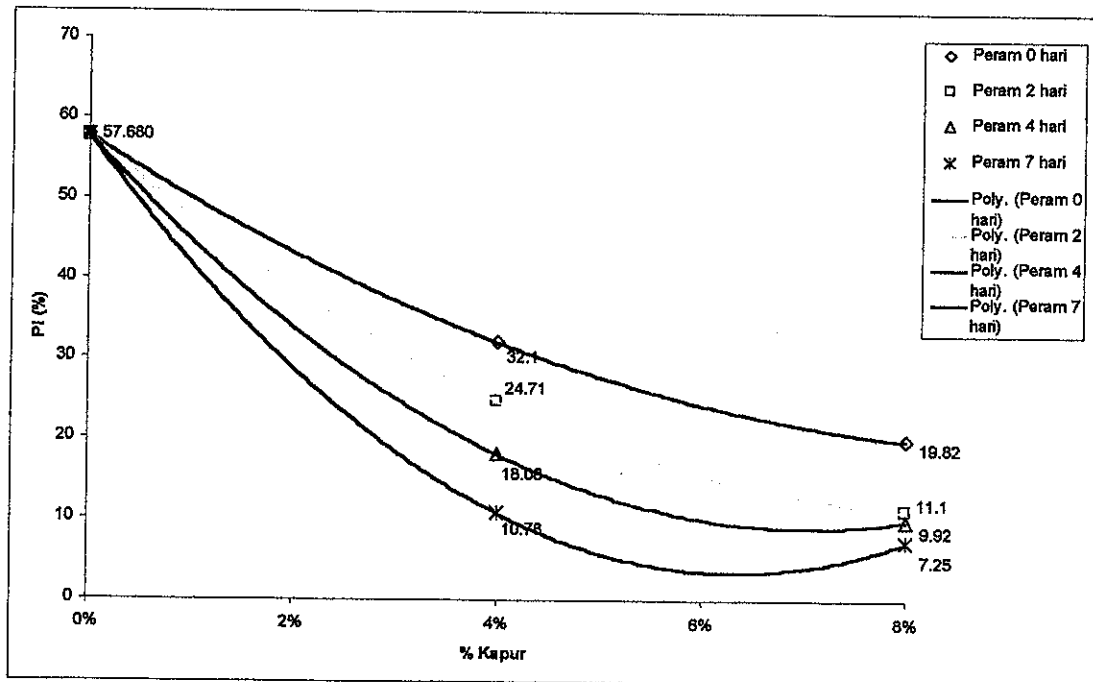
Gambar 4.5. Hubungan batas susut dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa peram



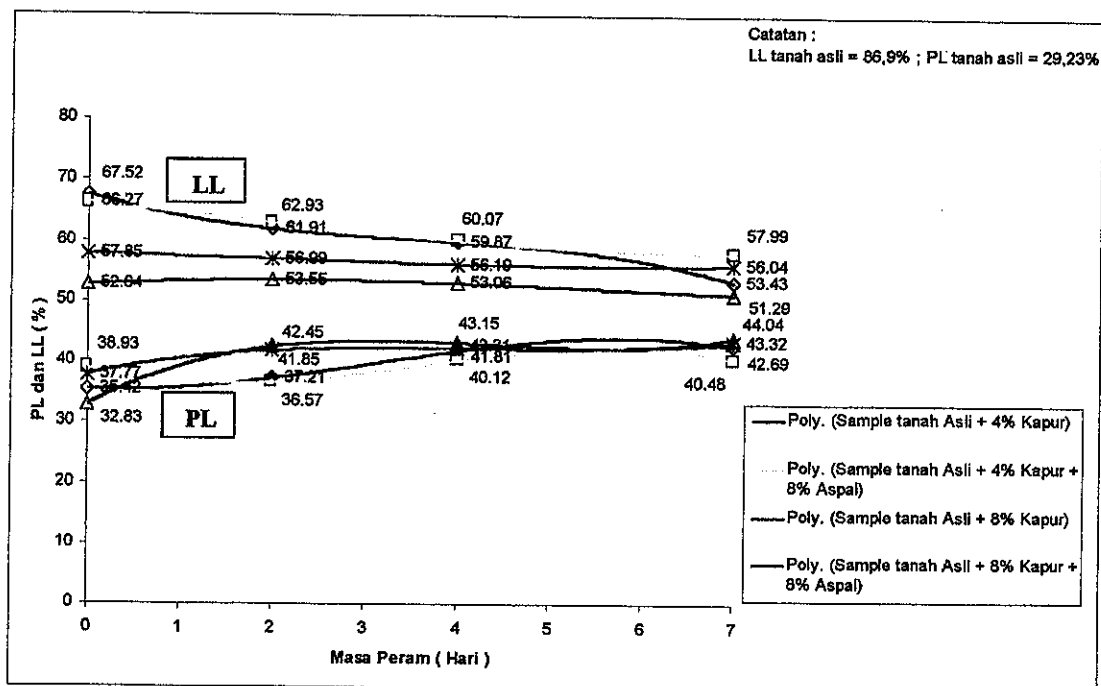
Gambar 4.6. Hubungan indeks plastisitas dengan konsentrasi aspal emulsi dalam variasi masa peram



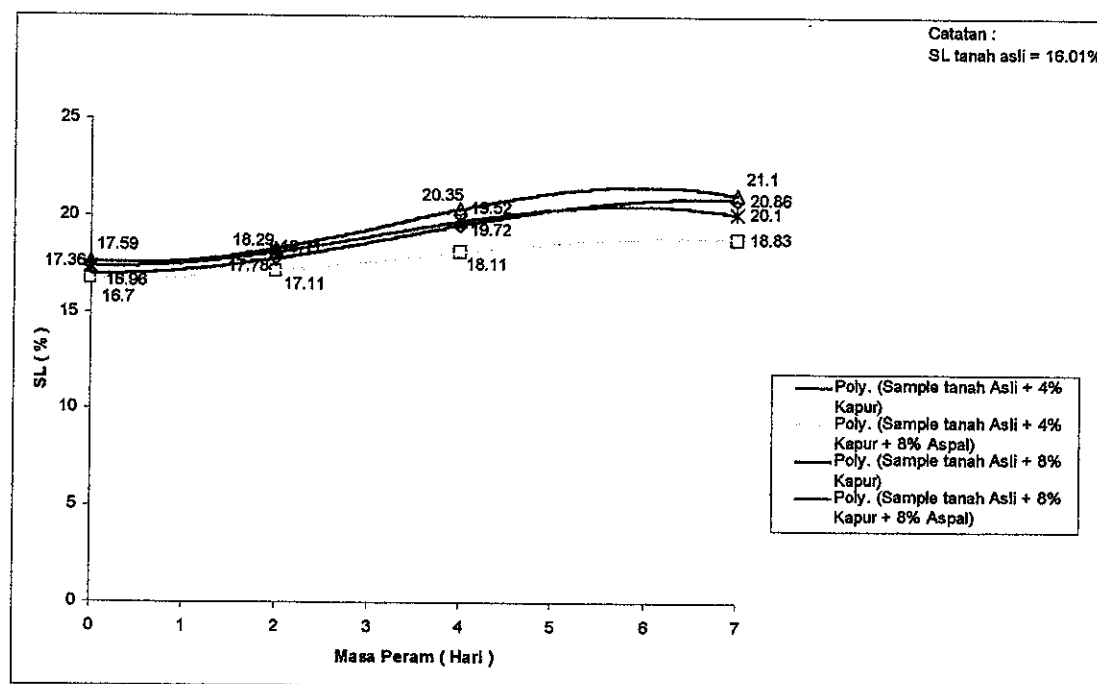
Gambar 4.7. Hubungan batas cair dan batas susut dengan konsentrasi kapur dalam variasi masa peram



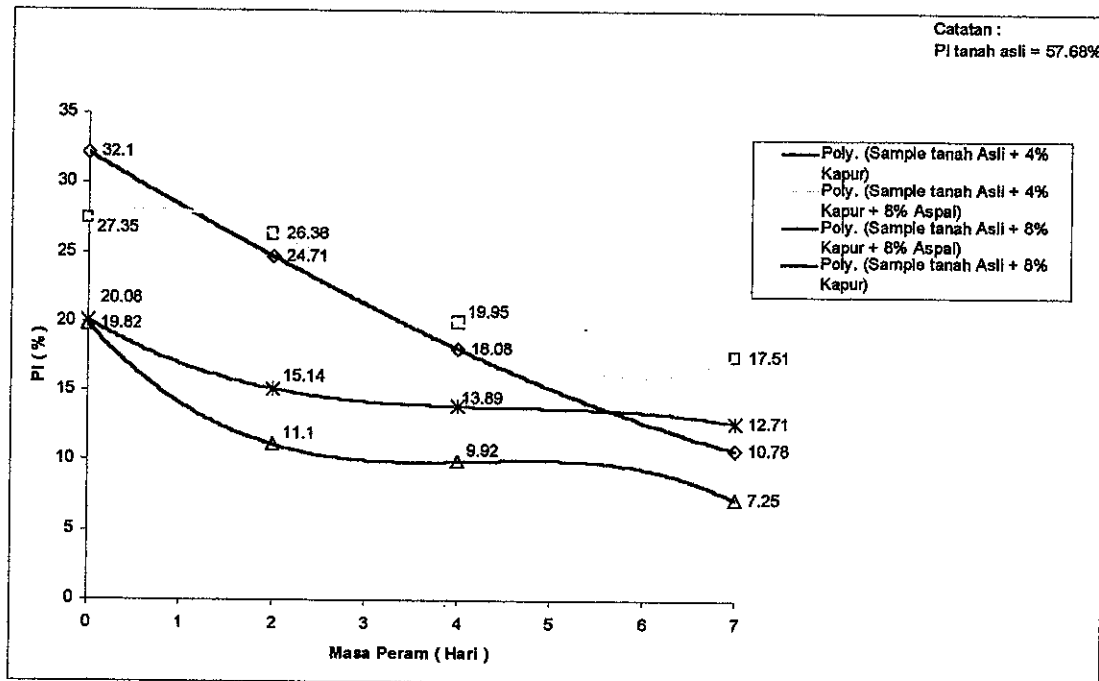
Gambar 4.8. Hubungan indeks plastisitas dengan konsentrasi kapur dalam variasi masa peram



Gambar 4.9. Hubungan batas cair dan batas plastis dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi



Gambar 4.10. Hubungan batas susut dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi

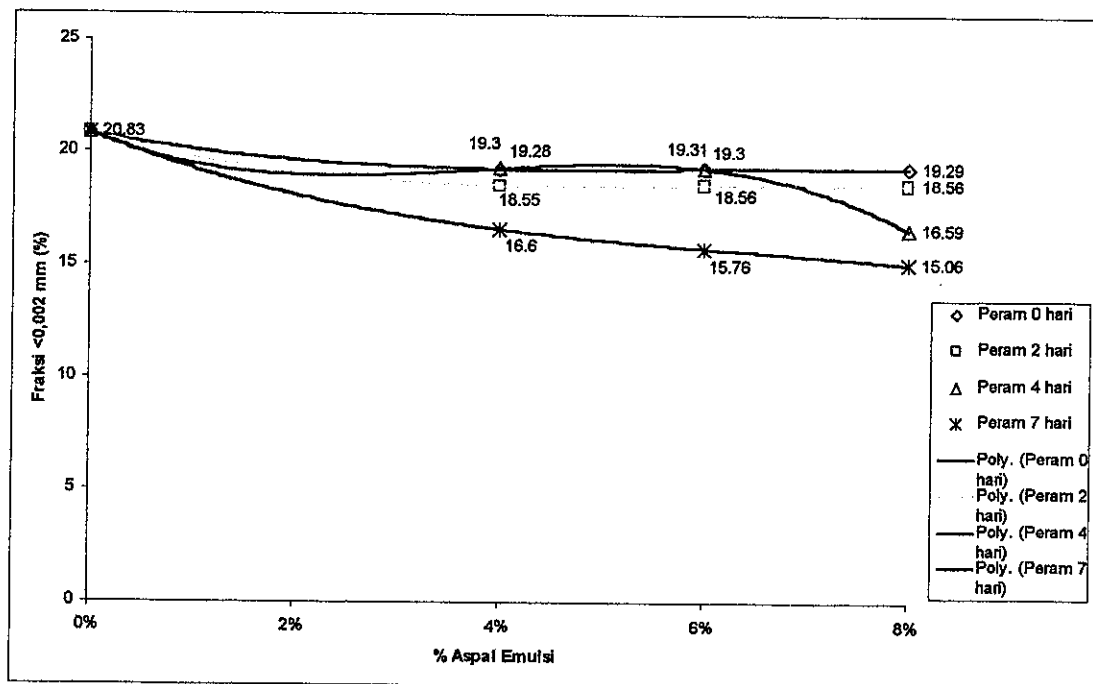


Gambar 4.11. Hubungan indeks platisitas dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi

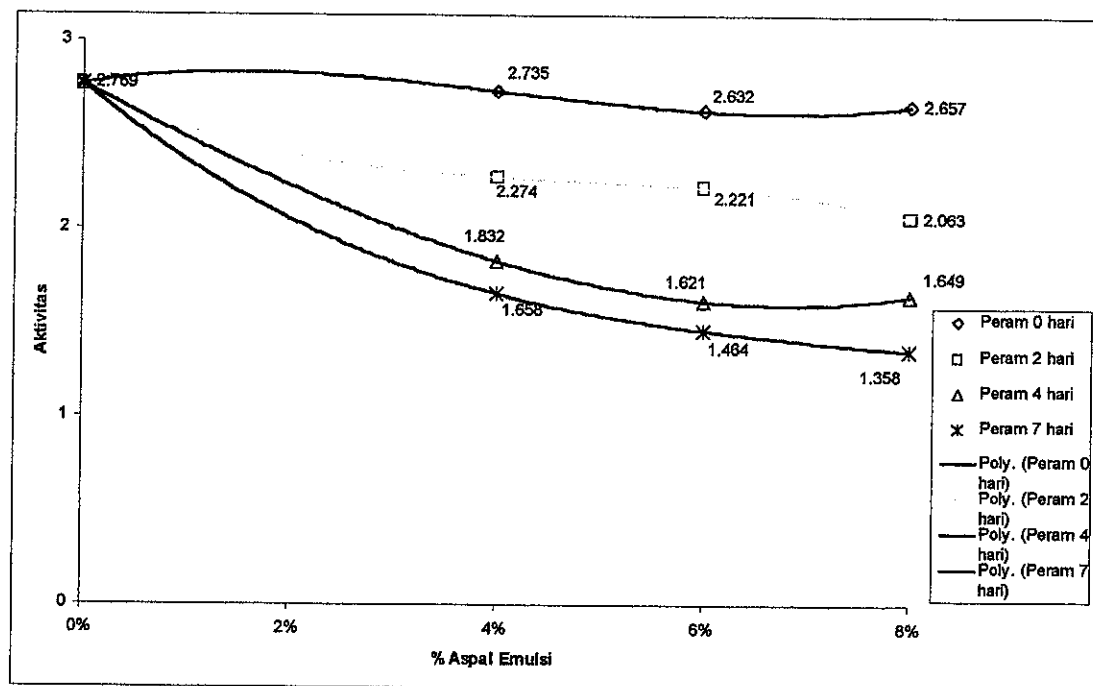
d. Distribusi ukuran butiran dan aktivitas

Pengujian distribusi ukuran butiran terutama pada kecenderungan perubahan nilai fraksi  $< 0,002$  mm dapat untuk mengetahui perubahan sifat pada tanah campuran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan konsentrasi aspal emulsi dan masa pemeraman akan menurunkan prosentase jumlah fraksi  $< 0,002$  mm. Menurut analisa Skempton untuk menghitung nilai aktivitas tanah yang besarnya tergantung dari fraksi  $< 0,002$  mm yang dinyatakan sebagai fraksi lempung, dapat diketahui bahwa penambahan konsentrasi aspal emulsi dan masa pemeraman akan menurunkan nilai aktivitas tanah. Hasil tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.12 sampai Gambar 4.13. Hasil pengujian distribusi ukuran butiran yang sama didapat pada campuran tanah dengan kapur, sekalipun hasilnya nampak lebih mencolok dibandingkan campuran tanah dengan aspal emulsi. Hasil penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.14 sampai gambar 4.15. Meskipun rentang

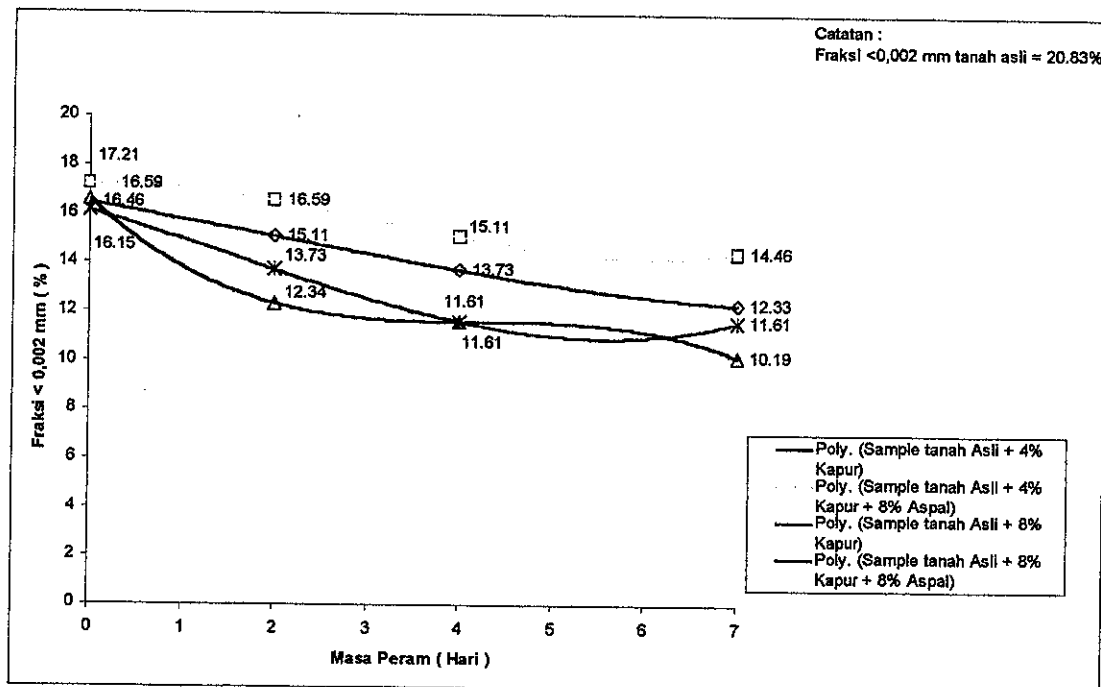
nilai aktivitas masih menunjukkan bahwa mineral yang dominan adalah *smectite* atau *montmorillonite*.



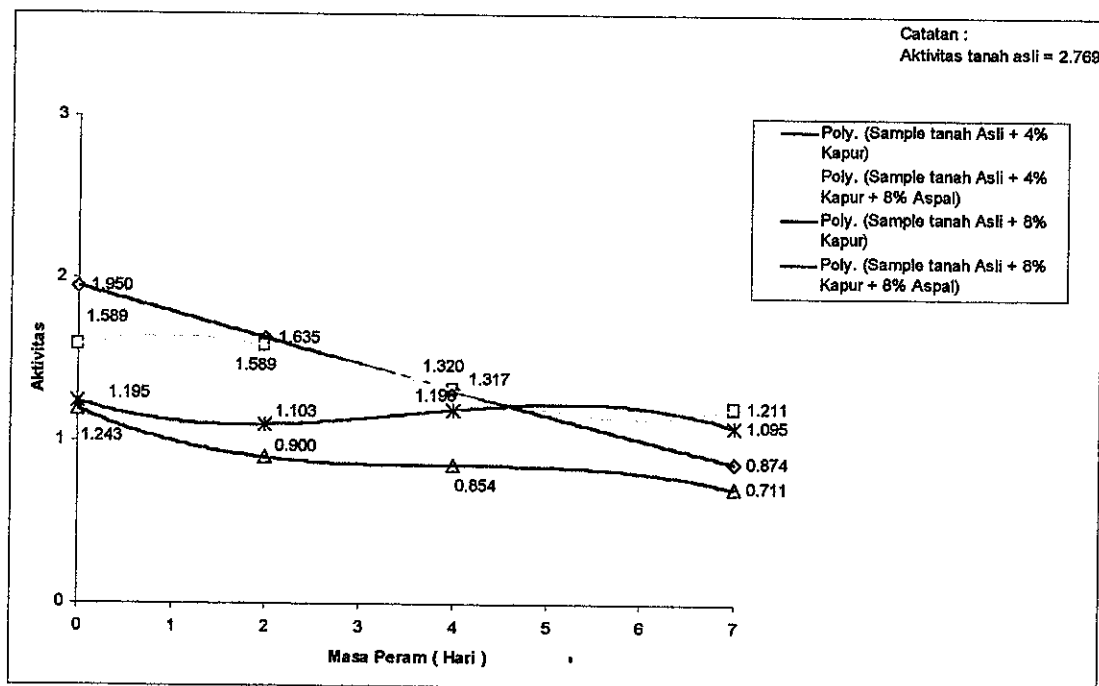
Gambar 4.12. Hubungan fraksi < 0,002 dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi masa peram



Gambar 4.13. Hubungan aktivitas dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi masa peram



Gambar 4.14. Hubungan prosentase jumlah fraksi < 0,002 mm dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi

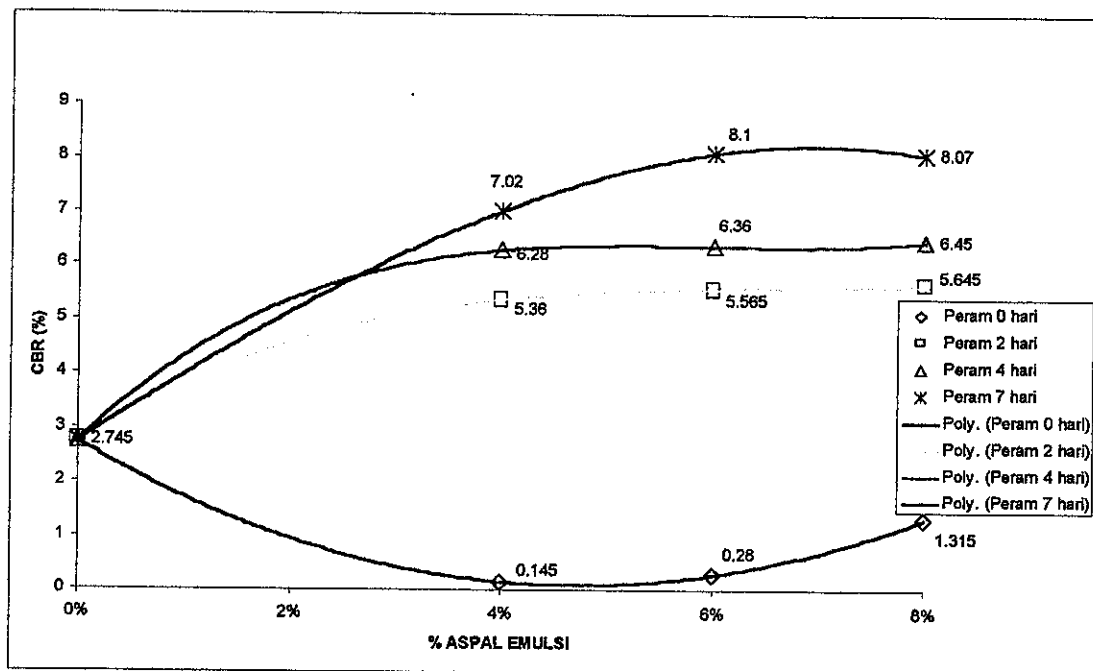


Gambar 4.15. Hubungan aktivitas dengan masa peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi



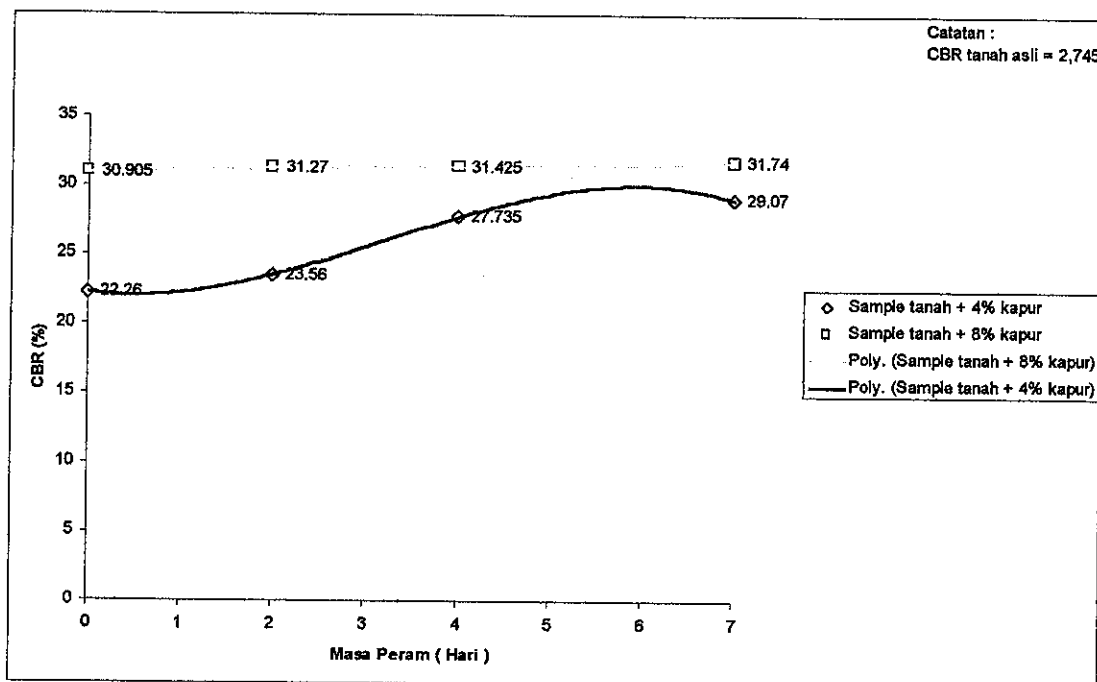
e. Nilai *California Bearing Ratio* ( CBR )

Hasil pengujian nilai *california bearing ratio* (CBR) seperti terlihat pada Tabel 4.13. menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi aspal emulsi dan masa pemeraman disertai dengan peningkatan nilai CBR. Peningkatan nilai CBR ini seperti ditunjukkan pada Gambar 4.16. disebabkan karena terjadinya sementasi antar partikel tanah karena reaksi tanah dengan aspal emulsi. Krebs dan Walker ( 1971 ) menyatakan bahwa ikatan sementasi dan flokulasi terjadi karena adanya efek *double layer*, aspal emulsi mengandung ion positif sedangkan tanah mengandung ion negatif karena unsur silikat dan aluminat yang banyak terkandung di dalamnya. Masa pemeraman yang diperpanjang akan meningkatkan daya ikat akibat proses sementasi yang menjadi salah satu penyebab meningkatnya nilai CBR.



Gambar 4.16. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi dalam berbagai variasi waktu pemeraman

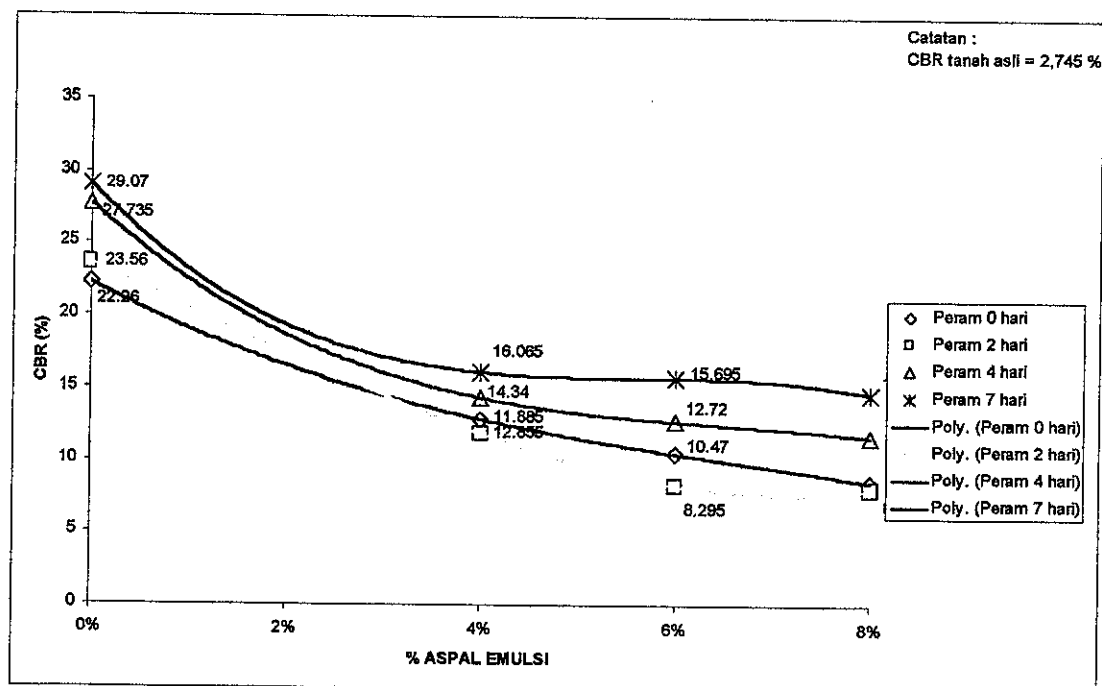
Pengujian CBR terhadap sample campuran tanah dengan kapur menunjukkan hasil yang serupa bahkan lebih menyolok. Pada Gambar 4.17. terlihat bahwa semakin besar konsentrasi kapur dan semakin lama waktu pemeraman meningkatkan nilai CBR. Krebs dan Walker ( 1971 ) menuliskan bahwa proses stabilisasi tanah dengan kapur terdiri atas dua tahap. Tahap pertama disebut *soil modification* terjadi dalam waktu beberapa menit sampai satu jam pertama pencampuran yang ditandai dengan proses *flocculation* yang menghasilkan gumpalan partikel tanah dengan ukuran lebih besar. Pada tahap pertama ini ditandai dengan meningkatnya daya kerja secara menyolok. Tahap berikutnya disebut *soil cementation* adalah tahap ketika campuran dipadatkan secara perlahan karena reaksi *pozzolanic* dan pembentukan senyawa baru. Selanjutnya Krebs dan Walker ( 1971 ) menjelaskan reaksi yang menyebabkan meningkatnya pengaruh kekuatan tanah ini diperkirakan karena terciptanya lingkungan partikel tanah yang beralkaline tinggi sehingga mendesak ion kalsium sehingga terjadi flokulasi yang hebat.



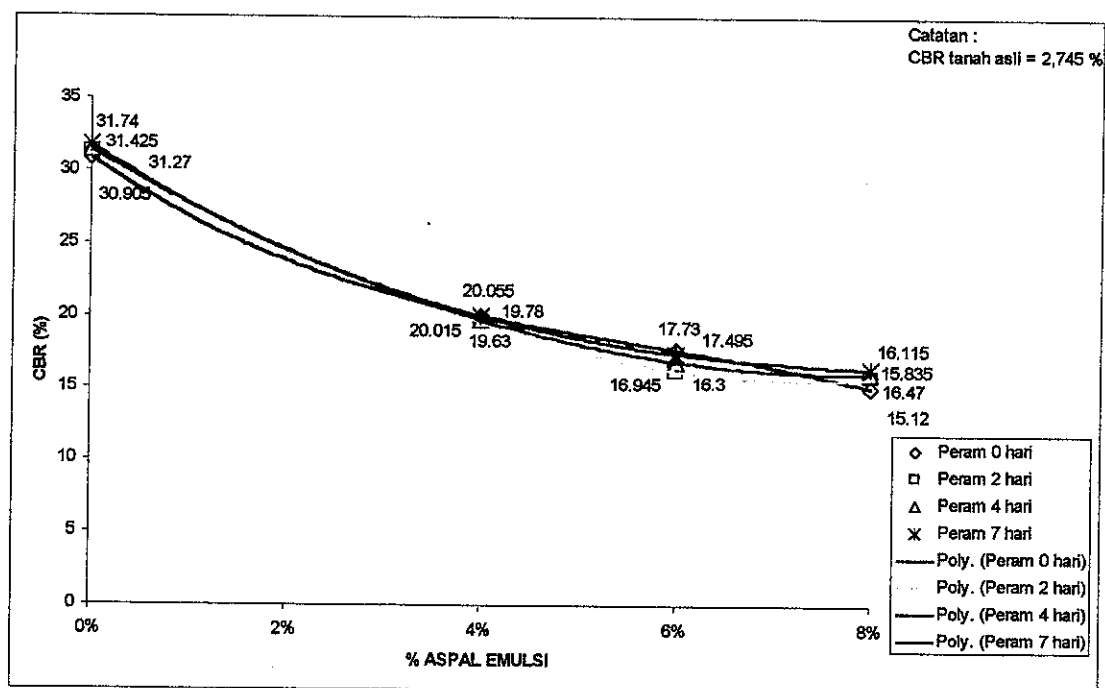
Gambar 4.17. Hubungan nilai CBR dengan masa pemeraman pada dua varian campuran kapur

Pada pengujian CBR terhadap campuran tanah dengan berbagai konsentrasi kapur dan aspal emulsi menunjukkan nilai yang melemah seperti ditunjukkan Gambar 4.18. dan Gambar 4.19. Dari hasil penelitian tersebut terlihat seakan dua bahan stabilisasi yang dipakai yaitu kapur dan aspal emulsi saling meniadakan pengaruhnya. Jika dibandingkan dengan hasil penelitian terhadap nilai CBR campuran tanah dengan kapur maka nilai CBR dari campuran tanah-kapur-aspal emulsi ternyata mengalami penurunan. Namun jika dibandingkan dengan hasil penelitian terhadap nilai CBR campuran tanah dengan aspal emulsi maka nilai CBR dari campuran tanah-kapur-aspal emulsi mengalami peningkatan. Krebs dan Walker ( 1971 ) mengingatkan bahwa aspal emulsi jenis kationik mempunyai efek yang merugikan jika dicampur dengan bahan stabilisasi yang mempunyai muatan ion sejenis seperti kapur. Sehingga kemungkinan reaksi yang terjadi adalah saling meniadakan tarikan antar ion sehingga menurunkan jumlah ikatan ion partikel tanah-bahan stabilisasi yang mengakibatkan turunnya nilai CBR. Namun dari ketiga nilai CBR yaitu campuran tanah-aspal emulsi, campuran tanah-kapur-aspal emulsi dan campuran tanah-kapur dapat ditarik kesimpulan bahwa kapur memberi tambahan efek menguntungkan pada bahan stabilisasi aspal emulsi sampai pada jumlah tertentu. Efek dari kapur akan berbalik menjadi merugikan apabila jumlah optimal itu terlampaui, karena terlalu banyak ion positif yang akan saling meniadakan.

Hasil nilai CBR dari campuran tanah-kapur lebih tinggi dari nilai CBR campuran tanah-aspal emulsi. Hal tersebut dikarenakan kekuatan tarik kation bahan stabilisasi berbeda. Hal tersebut dimungkinkan karena jumlah ion positif pada kapur lebih tinggi dari jumlah ion positif pada aspal emulsi sehingga flokulasi dan sementasi pada campuran tanah-kapur lebih besar. Ikatan ion yang lebih rendah inilah yang menyebabkan nilai CBR campuran tanah-aspal emulsi lebih rendah dari nilai CBR campuran tanah-kapur.

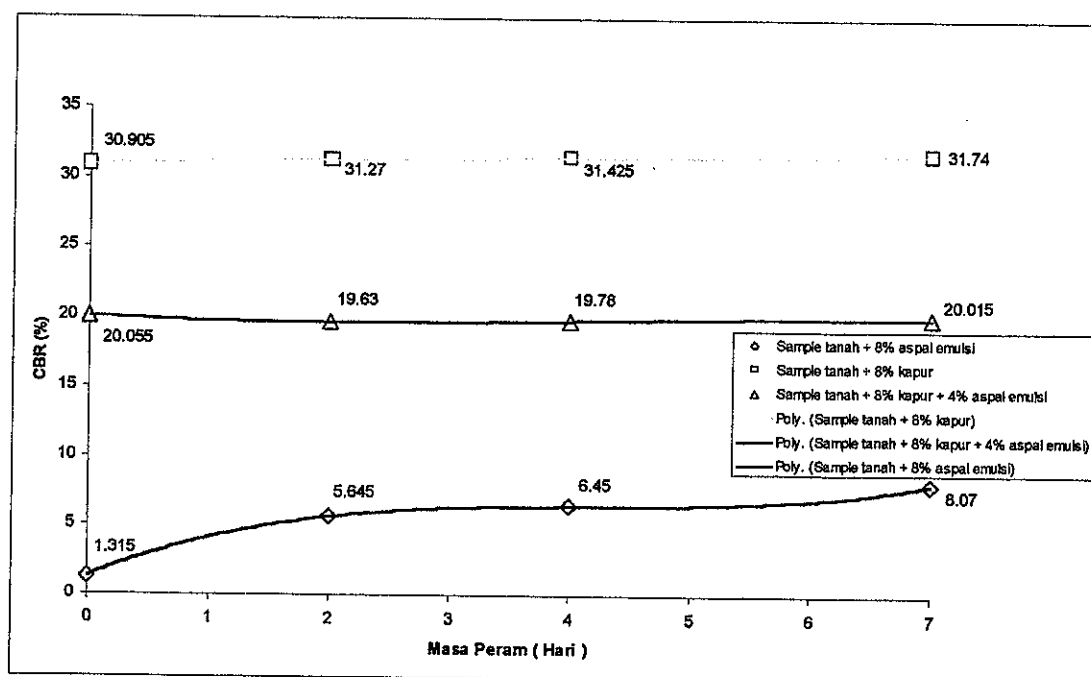


Gambar 4.18. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa pemeraman pada sampel dengan penambahan 4% kapur



Gambar 4.19. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa pemeraman pada sampel dengan penambahan 8% kapur

Pada pengujian CBR terhadap beberapa sampel yang diberi perlakuan siklus basah-kering ( *cyclic* ) seperti ditunjukkan Tabel 4.14. menunjukkan bahwa sampel dengan penambahan bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi maupun kombinasi keduanya, relatif stabil terhadap perubahan basah-kering. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan nilai CBR dari berbagai siklus yang relatif stabil. Gambar 4.20 menunjukkan perbandingan stabilisasi dengan memakai kapur, aspal emulsi dan kombinasi keduanya pada keadaan yang paling optimal yaitu 8% kapur dan 4% aspal emulsi.

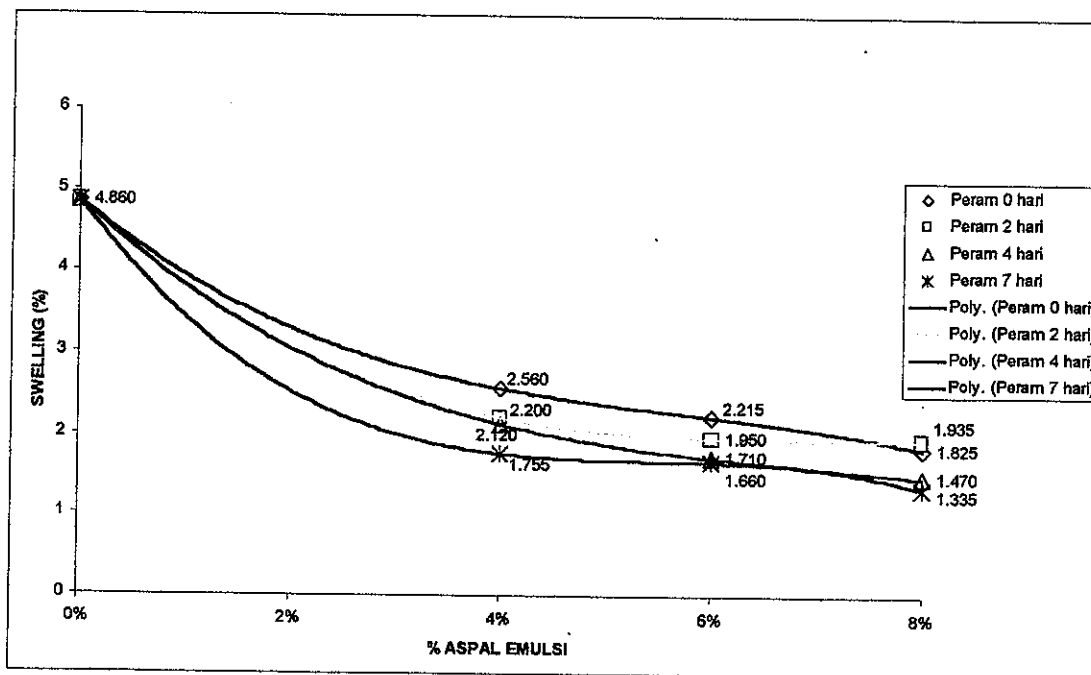


Gambar 4.20. Hubungan nilai CBR dengan hari peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi

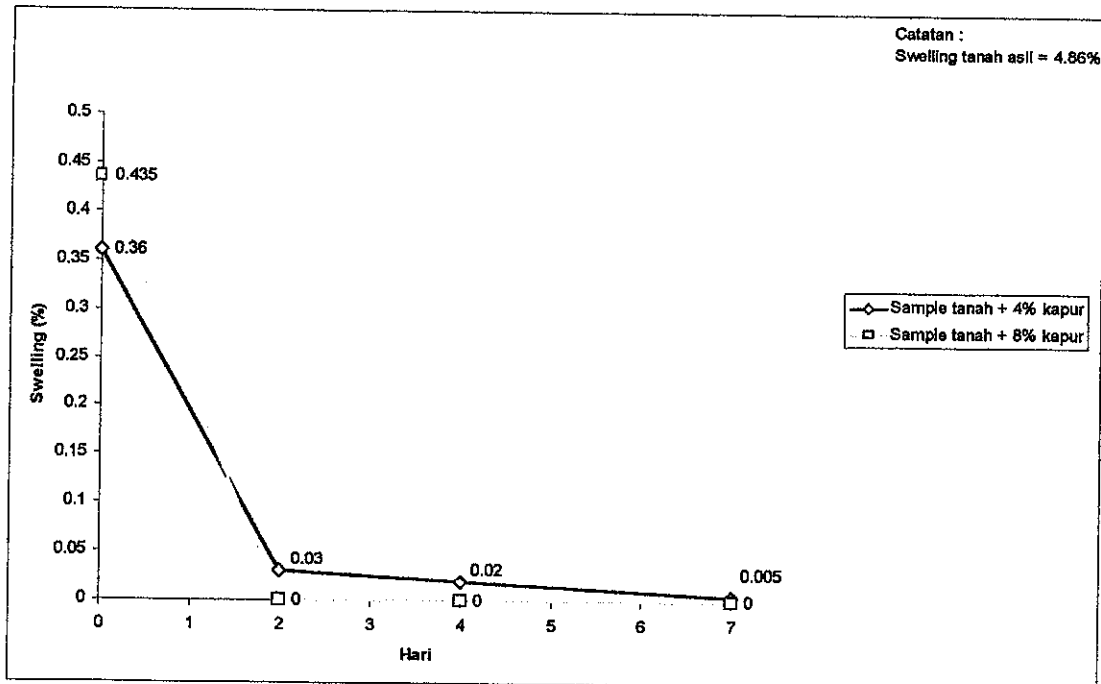
Dari Gambar 4.20 terlihat bahwa dengan 8% aspal emulsi, CBR meningkat dari 2,745% menjadi 8,07% berarti meningkat 193,9%. Pada konsentrasi 8% kapur, CBR meningkat dari 2,745% menjadi 31,74% berarti meningkat 1056,3%. Pada konsentrasi 8% kapur dan 4% aspal emulsi, CBR meningkat dari 2,745% menjadi 20,015% berarti meningkat 629,1%.

f. Nilai *Swelling Potential* ( potensi pengembangan )

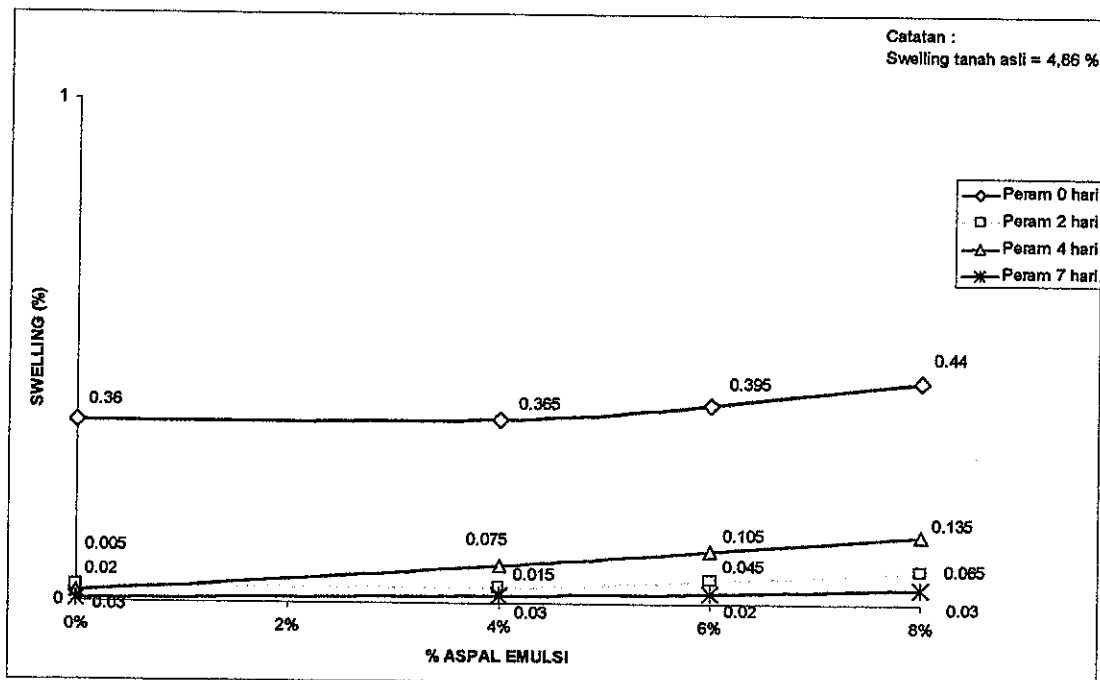
Hasil penelitian menunjukkan secara umum terjadi penurunan potensi pengembangan untuk campuran tanah dengan bahan stabilisasi aspal emulsi dan tanah dengan bahan stabilisasi kapur seperti ditunjukkan pada Gambar 4.21 dan Gambar 4.22. Namun pada campuran kombinasi kedua bahan stabilisasi tersebut, walaupun sangat kecil terlihat adanya peningkatan nilai potensi pengembangan seperti terlihat pada Gambar 4.23. dan Gambar 4.24. Seperti yang sudah diuraikan diatas hasil ini terjadi karena adanya efek saling meniadakan antar ion positif antara bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi.



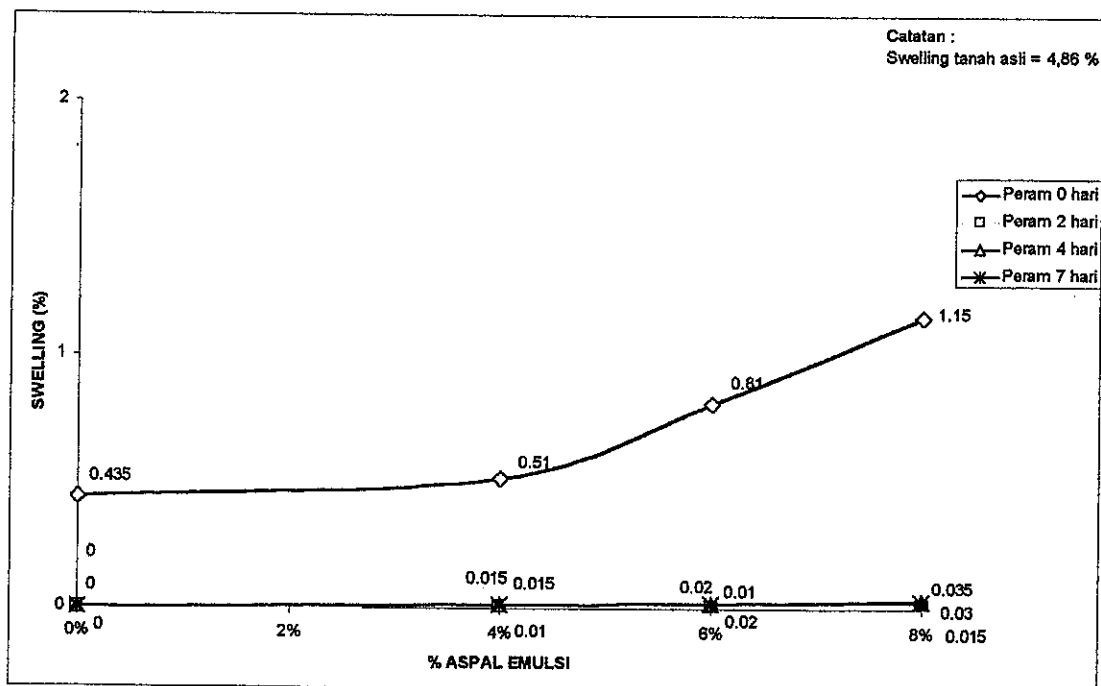
Gambar 4.21. Hubungan nilai swelling dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa peram



Gambar 4.22. Hubungan nilai swelling potensial terhadap masa pemeraman dalam dua variasi konsentrasi kapur



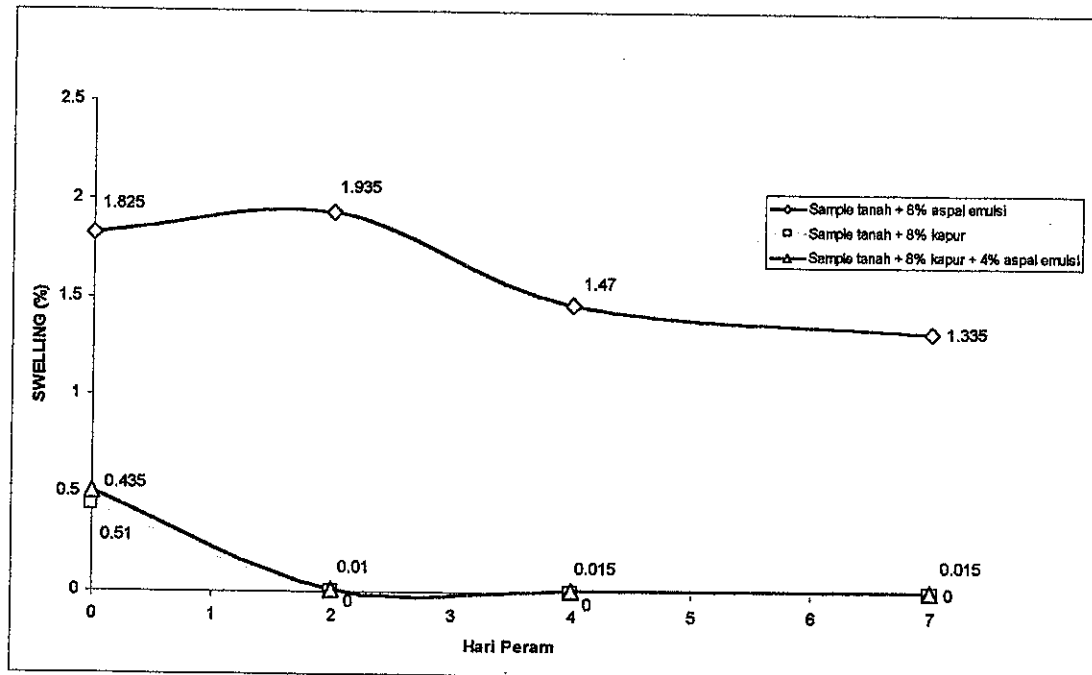
Gambar 4.23. Hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa pemeraman pada sampel dengan 4% kapur



Gambar 4.24. Hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi aspal emulsi pada berbagai variasi masa pemeraman pada sampel dengan 8% kapur

Pada pengujian swelling potensial terhadap beberapa sampel yang diberi perlakuan siklus basah-kering ( *cyclic* ) seperti ditunjukkan Tabel 4.14. menunjukkan bahwa sampel dengan penambahan bahan stabilisasi kapur dan aspal emulsi maupun kombinasi keduanya, relatif stabil terhadap perubahan basah-kering. Hal tersebut dapat ditunjukkan dengan nilai swelling potensial dari berbagai siklus yang relatif stabil. Gambar 4.25 menunjukkan perbandingan stabilisasi dengan memakai kapur, aspal emulsi dan kombinasi keduanya pada keadaan yang paling optimal pada 8% kapur dan 4% aspal emulsi.





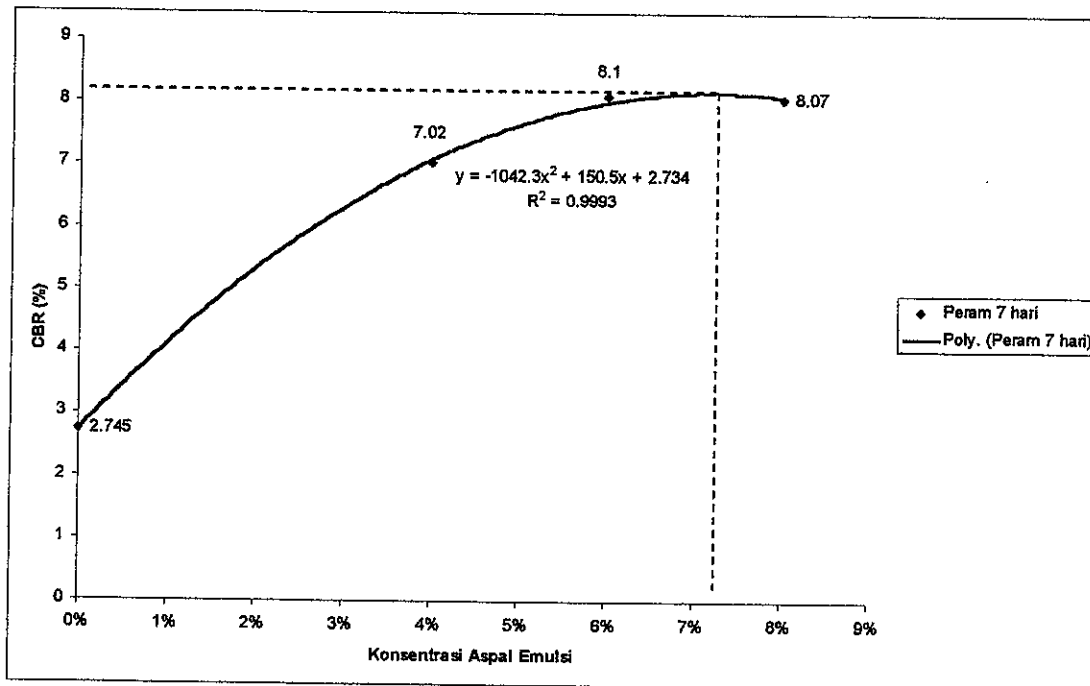
Gambar 4.25. Hubungan Hubungan nilai swelling dengan hari peram dalam berbagai variasi konsentrasi bahan stabilisasi

Pada Gambar 4.25. ditunjukkan bahwa dengan 8% aspal emulsi, swelling menurun dari 4,86% menjadi 1,335% berarti terjadi penurunan sebesar 72,5%. Pada konsentrasi 8% kapur, swelling menurun dari 4,86% menjadi 0% berarti terjadi penurunan 100%. Pada konsentrasi 8% kapur dan 4% aspal emulsi, swelling menurun dari 4,89% menjadi 0,0015% berarti terjadi penurunan sebesar 99,9%. Holtz ( 1969 ) menyatakan penurunan *swelling potential* dalam proses stabilisasi tersebut karena menurunnya indek plastisitas dan kemampuan *montmorillonite* dalam menyerap air

#### g. Konsentrasi aspal emulsi optimum

Dari berbagai variasi masa pemeraman dalam pengujian CBR maupun swelling potensial dapat diketahui bahwa nilai optimum ada pada masa pemeraman 7 hari dengan penambahan konsentrasi sebesar 8% aspal emulsi, sebagai varian paling optimal dari sisi nilai CBR dalam penelitian ini.

Tinjauan hasil pengujian CBR sampel dalam berbagai variasi konsentrasi aspal emulsi pada masa pemeraman 7 hari meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi aspal emulsi seperti tergambar pada Gambar 4.26.



Gambar 4.26. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi dalam masa pemeraman 7 hari

Persamaan dari hubungan nilai CBR dengan konsentrasi aspal emulsi seperti yang ditunjukkan pada gambar 4.26. adalah :

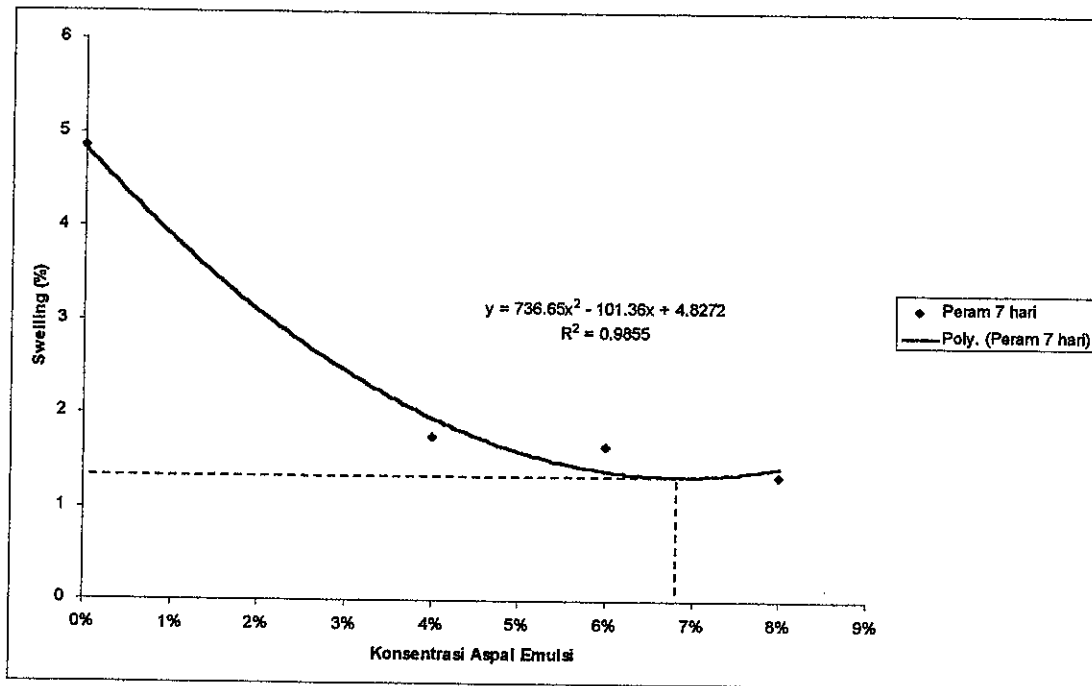
$$Y = -1042,3X^2 + 150,5X + 2,734 \quad (4.1.)$$

$$\frac{dy}{dx} = -2084,6X + 150,5 \quad (4.2.)$$

Persamaan 4.2. adalah turunan pertama dari Persamaan 4.1. Konsentrasi aspal emulsi optimum terdapat pada perubahan  $\Delta X$  yang menghasilkan perubahan  $\Delta Y$  terbesar Kondisi ini terjadi pada  $\Delta X / \Delta Y = 0$ , yaitu apabila turunan pertama dari Persamaan 4.1. = 0

Untuk  $\frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow x = 0,0722 = 7,22\%$ . Maka konsentrasi aspal emulsi optimum berdasarkan nilai CBR adalah 7,22%

Dari hasil penelitian nilai swelling campuran dengan masa peram 7 hari di dapat hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.27.



Gambar 4.27. Hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi aspal emulsi pada masa pemeraman 7 hari

Persamaan dari hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi aspal emulsi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.27. adalah :

$$Y = 736,65X^2 - 101,36X + 4,8272 \quad (4.3.)$$

$$\frac{dy}{dx} = 1473,3X - 101,36 \quad (4.4.)$$

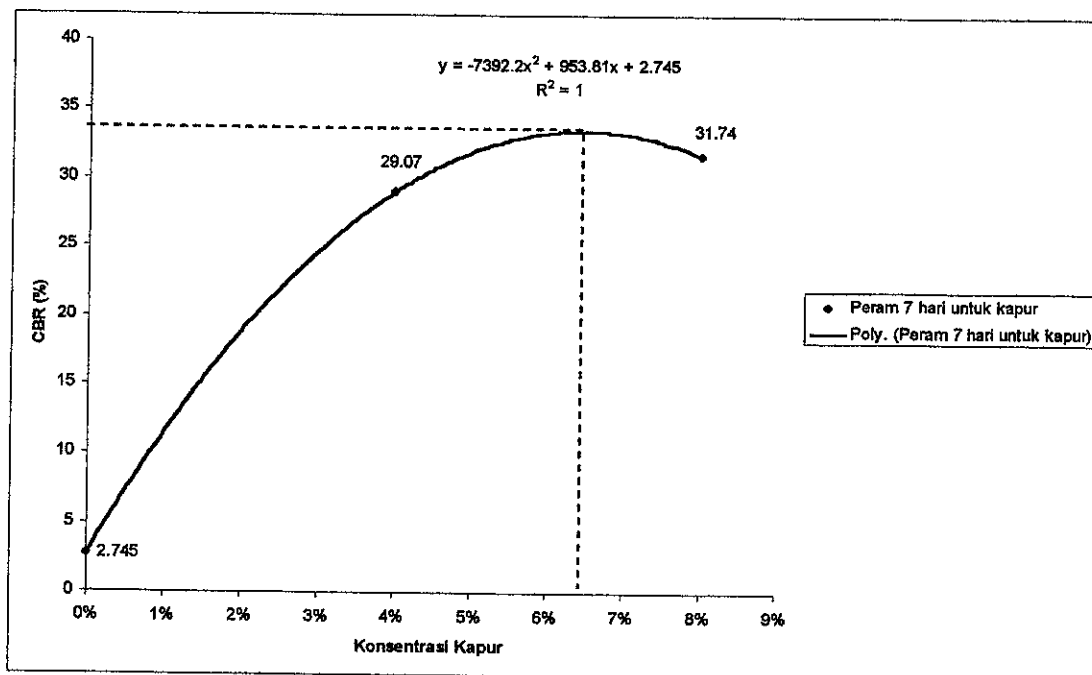
Persamaan 4.4. adalah turunan pertama dari Persamaan 4.3. Konsentrasi aspal emulsi optimum terdapat pada perubahan  $\Delta X$  yang menghasilkan perubahan  $\Delta Y$  terbesar Kondisi ini terjadi pada  $\Delta X / \Delta Y = 0$ , yaitu apabila turunan pertama dari Persamaan 4.3. = 0

Untuk  $\frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow x = 0,0688 = 6,88\%$ . Maka konsentrasi aspal emulsi optimum berdasarkan nilai swelling potensial adalah 6,88%. Dari kedua nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai optimum aspal emulsi adalah antara 6,88 % – 7,22 %

#### h. Konsentrasi kapur optimum

Dari berbagai variasi masa pemeraman dalam pengujian CBR maupun swelling potensial dapat diketahui bahwa nilai optimum ada pada masa pemeraman 7 hari dengan penambahan konsentrasi sebesar 8% kapur, sebagai varian paling optimal dari sisi nilai CBR dalam penelitian ini.

Tinjauan hasil pengujian CBR sampel dalam berbagai variasi konsentrasi kapur pada masa pemeraman 7 hari meningkat seiring dengan penambahan konsentrasi aspal emulsi seperti tergambar pada Gambar 4.28.



Gambar 4.28. Hubungan nilai CBR dengan konsentrasi kapur dalam masa pemeraman 7 hari

Persamaan dari hubungan nilai CBR dengan konsentrasi kapur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.28. adalah :

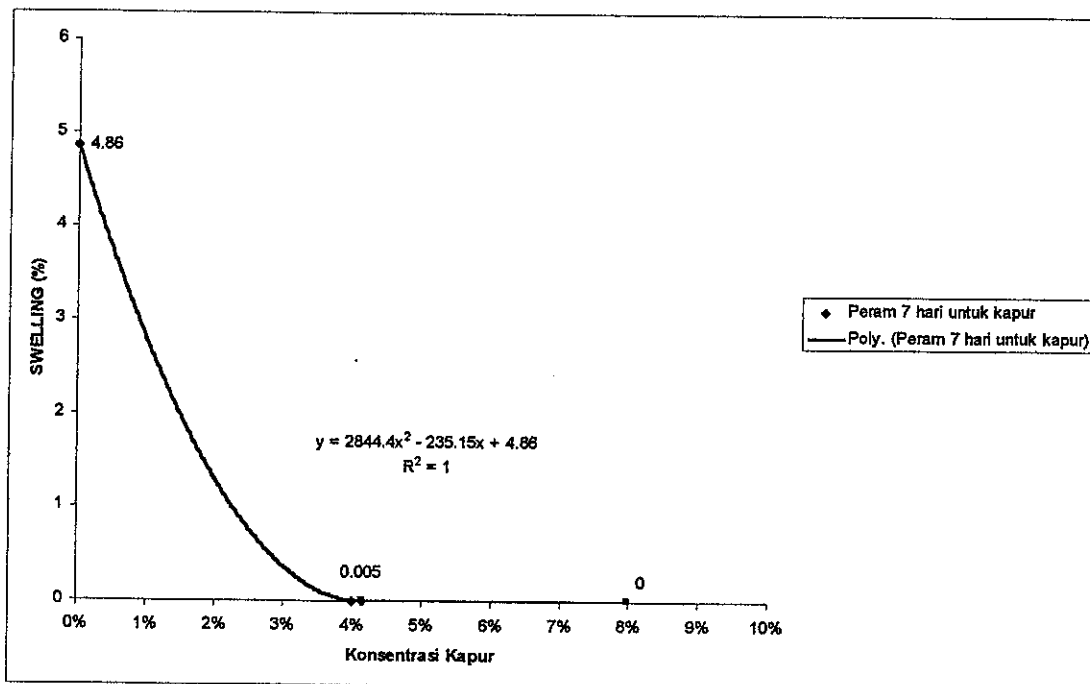
$$Y = -7392,2X^2 + 953,81X + 2,745 \quad (4.5.)$$

$$\frac{dy}{dx} = -14784,4X + 953,81 \quad (4.6.)$$

Persamaan 4.6. adalah turunan pertama dari Persamaan 4.5. Konsentrasi kapur optimum terdapat pada perubahan  $\Delta X$  yang menghasilkan perubahan  $\Delta Y$  terbesar Kondisi ini terjadi pada  $\Delta X / \Delta Y = 0$ , yaitu apabila turunan pertama dari Persamaan 4.5. = 0

Untuk  $\frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow x = 0,0645 = 6,45\%$ . Maka konsentrasi kapur optimum berdasarkan nilai CBR adalah 6,45%

Dari hasil penelitian nilai swelling campuran dengan masa peram 7 hari di dapat hasil seperti ditunjukkan pada Gambar 4.29.



Gambar 4.29. Hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi kapur pada masa pemeraman 7 hari

Persamaan dari hubungan nilai swelling potensial dengan konsentrasi kapur seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.29. adalah :

$$Y = 2844,4X^2 - 235,15X + 4,86 \quad (4.7.)$$

$$\frac{dy}{dx} = 5688.8X - 235,15 \quad (4.8.)$$

Persamaan 4.8. adalah turunan pertama dari Persamaan 4.7. Konsentrasi kapur optimum terdapat pada perubahan  $\Delta X$  yang menghasilkan perubahan  $\Delta Y$  terbesar Kondisi ini terjadi pada  $\Delta X / \Delta Y = 0$ , yaitu apabila turunan pertama dari Persamaan 4.7. = 0

Untuk  $\frac{dy}{dx} = 0 \rightarrow x = 0,041 = 4,1\%$ . Maka konsentrasi kapur berdasarkan nilai swelling potensial adalah 4,1%. Dari kedua nilai di atas dapat disimpulkan bahwa nilai optimum kapur adalah antara 4,1% – 6,45 %

## BAB V

### KESIMPULAN dan SARAN

#### A. Kesimpulan

1. Dari hasil penelitian sampel yang dipergunakan dapat diambil kesimpulan bahwa tanah setempat berkualiatas buruk. Hasil pengujian tanah meliputi :  $LL = 86,9\%$ ,  $PL = 29,23\%$ , Batas susut =  $9,02\%$ , nilai  $PI$  sebesar =  $57,68\%$  dan nilai aktivitas sebesar  $2,769$  serta didukung oleh hasil uji defraksi sinar x yang mengindikasikan sebagai tanah lempung berplastisitas tinggi.
2. Hasil pengujian batas-batas Atterberg dari pencampuran tanah dengan aspal emulsi menunjukkan adanya penurunan plastisitas tanah. Penurunan itu ditunjukkan dari hasil pengujian batas cair sebesar  $86,9\%$  turun menjadi  $71,75\%$  pada konsentrasi  $8\%$  aspal emulsi dan waktu pemeraman selama 7 hari, yang berarti penurunan sebesar  $17,4\%$ . Pada angka indeks plastisitas juga mengalami perubahan dari  $57,68\%$  turun menjadi  $20,45\%$ , yang berarti turun sebesar  $64,5\%$ . Pada pengujian terhadap pencampuran tanah dengan kapur juga terjadi penurunan batas cair dari  $86,9\%$  menjadi  $51,29\%$  yang berarti turun sebesar  $40,9\%$  dan indeks plastisitas mengalami perubahan dari  $57,68\%$  menjadi  $7,25\%$  yang berarti turun sebesar  $87,4\%$ . Pada pengujian terhadap campuran kombinasi tanah dengan kapur dan aspal emulsi juga menunjukkan adanya penurunan, angka batas cair mengalami perubahan dari  $86,9\%$  turun menjadi  $56,04\%$  yang berarti turun  $35,5\%$  dan angka indeks plastisitas turun dari  $57,68\%$  menjadi  $12,71\%$  yang berarti turun sebesar  $77,9\%$  pada konsentrasi  $8\%$  kapur dan  $8\%$  aspal emulsi masa peram 7 hari.
3. Pengujian CBR ( *California Bearing Ratio* ) dari pencampuran tanah dengan aspal emulsi menunjukkan adanya kenaikan nilai CBR. Kenaikan itu ditunjukkan dari hasil nilai CBR sebesar  $2,745\%$  naik menjadi  $8,07\%$  pada konsentrasi  $8\%$  aspal

emulsi dan waktu pemeraman selama 7 hari, berarti ada kenaikan sebesar 193,9%. Pada pengujian terhadap pencampuran tanah dengan kapur juga terjadi kenaikan nilai CBR dari 2,745% menjadi 31,74% pada konsentrasi 8% kapur dan masa pemeraman 7 hari, berarti ada kenaikan sebesar 1056,3%. Pada pengujian terhadap campuran kombinasi tanah dengan kapur dan aspal emulsi juga menunjukkan adanya kenaikan, nilai CBR mengalami perubahan dari 2,745% naik menjadi 20,015% pada konsentrasi 8% kapur dan 4% aspal emulsi masa peram 7 hari, berarti kenaikan sebesar 629,1%.

4. Pengujian potensi pengembangan ( *swelling potential* ) juga menunjukkan adanya perubahan. Angka *swelling potential* tanah setempat sebesar 4,86%, angka tersebut mengalami penurunan pada pengujian *swelling potential* campuran tanah dengan aspal emulsi menjadi 1,335% pada konsentrasi 8% aspal emulsi dengan masa peram 7 hari, berarti ada penurunan sebesar 72,5%. Pada pengujian *swelling potential* pada campuran tanah dengan kapur juga menunjukkan adanya penurunan, pada konsentrasi kapur 4% peram 7 hari terjadi penurunan dari 4,86% menjadi 0,005% yang berarti penurunan sebesar 99,9%. Pada konsentrasi 8% kapur peram 2, 4, 7 hari turun menjadi 0% berarti penurunan sebesar 100%. Pada pengujian terhadap campuran kombinasi tanah dengan kapur dan aspal emulsi juga menunjukkan adanya penurunan, nilai *swelling potential* mengalami perubahan dari 4,86% turun menjadi 0,0015% pada konsentrasi 8% kapur dan 4% aspal emulsi masa peram 7 hari, berarti ada penurunan sebesar 99,9%.
5. Prosentase optimum aspal emulsi sebesar 6,88% - 7,22% terhadap berat kering tanah, prosentase optiu kapur sebesar 4,1% - 6,45% terhadap berat kering tanah.



Berdasarkan uraian kesimpulan, penelitian ini menunjukkan bahwa dengan teknik stabilitas yang diterapkan dengan mempergunakan bahan stabilisasi aspal emulsi dan kapur dapat memperbaiki daya dukung tanah yang tergambarkan dalam nilai CBR dan menurunkan potensi kembang-susut yang tercermin pada nilai *swelling potensial*.

## B. Saran

Saran bagi peneliti yang akan melakukan penelitian bidang stabilisasi aspal emulsi dan atau kapur, meliputi :

1. Sebagai bahan stabilisasi tanah maka pemakaian aspal emulsi optimum pada konsentrasi 6,88% - 7,22%. Pemakaian kapur sebagai bahan stabilisasi yang optimum pada konsentrasi 4,1% - 6,45%.
2. Sebagai bahan stabilisasi tanah sebaiknya penggunaan kapur dan aspal emulsi secara bersamaan dihindarkan.
3. Untuk penelitian sejenis diperlukan *Coating Test* untuk aspal emulsi guna mendapatkan perbandingan kadar aspal emulsi dan kapur.
4. Mengamati nilai CBR yang terus meningkat dan nilai *swelling potential* yang terus turun, perlu pengujian lebih lanjut dengan memperpanjang masa pemeraman dan perubahan variasi kapur – aspal emulsi untuk mencari kombinasi diantara keduanya sehingga dicapai konsentrasi optimum.
5. Mengamati hasil penelitian pada campuran kombinasi aspal emulsi jenis kation dan kapur, perlu pengujian lebih lanjut dengan memakai aspal emulsi jenis anionik untuk mengimbangi kapur yang memiliki ion positif kuat, sehingga dicapai kondisi kombinasi yang optimum.

6. Mengamati hasil penelitian stabilisasi dengan aspal emulsi jenis CSS-IS disarankan untuk mengadakan penelitian stabilisasi dengan menggunakan aspal emulsi jenis CMS yang mengandung aspal sebesar 70%.
7. Perlu ditindaklanjuti dengan penelitian yang mengungkap proses dan tahap sementasi atau kristalisasi terhadap sifat fisik dan mekanis tanah dengan campuran aspal emulsi dan atau kapur.
8. Tahapan kritis proses penelitian ini adalah tahapan pencampuran, tingkat homogenitas campuran sangat dibutuhkan disini, oleh karena itu perlu dicarikan cara atau metode pencampuran selain memakai tangan yang menjamin homogenitas campuran.

## DAFTAR PUSTAKA

- Altmeyer, W.T., 1955, " *Discussion of Engineering Properties of Expansive Clays* ", Proc. Am. Soc. Civil Eng. 81, New York.
- American Society for Testing and Material, 1989, " *Annual Books of ASTM Standard* ", Section 4, Volume 04.08, Philadelphia, USA.
- Austin, G.E., 1985, " *Shreve's Chemical Proses Industri* ", McGraw-Hill, Inc, New York.
- Chen, F.H., 1975, " *Foundation on Expansive Soil* ", Elsevier Science Publishing Company, New York.
- Craig, R.F., 1991, " *Mekanika Tanah* ", Edisi keempat, Erlangga, Jakarta.
- Das, B.M., 1987, " *Advanced Soil Mechanics* ", McGraw-Hill, New York.
- Dunn, I.S., Anderson, L.R., and Kiefer, F.W., 1991, " *Dasar-dasar Analisis Geoteknik* ", (Penterjemah Achmad Toekiman), Semarang, IKIP Semarang Press, Semarang.
- Fathani, M.A., 1998, " *Pengaruh Variasi Kadar Abu Sekam Padi ( ASP ) Pada Tanah Lempung untuk Bahan Inti Kedap Air* ", Thesis-UGM, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 1992, " *Mekanika Tanah I* ", Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Holtz, W. G., 1969, " *Volume Change in Expansive Clay Soils and Control by Lime Treatment* ", Proceedings of the Second International Research and Engineering Conference on Expansive Soils, Texas.
- Holtz, W.G., and Gibbs, H.J., 1956, " *Engineering Properties of Expansive Clays* ", ASCE, Transact.
- Holtz, R.D., and Kovacs, W.D., 1981, " *An Introduction to Geotechnical Engineering* ", Pretice-Hall Civil Engineering and Engineering Mechanics Series, Englewood Cliffs, New Jersey.
- Idrus, 1991, " *Stabilisasi pada Tanah Lempung Losari dengan Kapur dan Semen* ", Thesis, Bandung.
- Ingles, O.G., and Metcalf, J.B., 1972, " *Soil Stabilization* ", Butterworths Pty. Limited, Melbourne 3000, Australia.
- Kezdi, K., 1979, " *Stabilized Earth Road* ", Elsevier Scientific Publishing Company, New York

- Krebs, R.D., and Walker, R.D, 1971, " *Highway Material* ", McGraw-Hill Book Company, New York
- Lashari, 2000, " *Pengaruh Campuran Kapur dan Bubuk Bata Merah Pada Sifat Mekanis Tanah Lempung Grobogan* ", Thesis- UGM, Yogyakarta.
- Mitchell, J. K., 1976, " *Fundamentals of Soil Behavior* ", John Wiley, New York
- Nelson, J.D., and Miller, D.J., 1992, " *Expansive Soils Problem and Practice in Foundation and Pavement Engineering* ", John Wiley & Sons, Inc, New York.
- Priyatno, Bagus, 2000, " *Pengaruh gipsum sintetis (  $\text{Ca SO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  ) dan Portland Cement sebagai Bahan Filler terhadap Sifat Marshall dan Permeabilitas Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat* ", Thesis-UGM, Yogyakarta
- Rolling, M.P., Raymonds, S.R., 1976, " *Geotechnical Material Construction* ", McGraww-Hill, USA.
- Seed, H.B., Woodward, R.J., Lundgren, R., 1964, " *Clay Mineralogical Aspects of the Atterberg Limits* ", Journal of Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol. 90, No. SM 4, July 1964.
- Shirley, L.H., 1987, " *Geoteknik dan Mekanika Teknik* " Nova, Bandung
- Skempton, A.W., 1953, " *The Colloidal Activity of Clay* ", Proc. 3<sup>rd</sup> Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., Switzerland.
- Supriyono, 1993, " *Studi Tekanan Pengembangan Tanah Lempung dengan Alat Geonor* ", Thesis-ITB, Bandung.
- Syahirman Suriadi, 2000, " *Stabilisasi tanah Lempung dengan Kapur dan Garam* ", Thesis-UGM, Yogyakarta.
- Syndicat Des Fabricants D'Emulsions Routieres De Bitume, 1991, " *Bitumen Emulsion General Information Application* ", Paris, Perancis
- Terzaghi, Karl, 1987, " *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa I* ", ( Penterjemah Bagus, W., dan Benny K. ), Erlangga, Jakarta